

Comissionamento de um acelerador linear para realização da radioterapia em arco modulada volumetricamente

Commissioning of a linear accelerator to execute volumetric modulated arc therapy

Leandro R. Gonçalves, Gabriela R. Santos, Gisela Menegussi, Marco A. Silva, Anderson M. Pássaro e Laura N. Rodrigues

Serviço de Radioterapia do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo – São Paulo (SP), Brasil.

Resumo

Técnicas Radioterápicas como o VMAT possibilitam atingir distribuições de dose complexas modulando a intensidade do feixe dentro do campo de irradiação a partir da movimentação de colimadores multi-lâminas, variações na taxa de dose, diferentes velocidades de rotação do gantry e ângulo de colimador permitindo uma maior conformação da dose no volume tumoral e uma menor dose nos tecidos saudáveis. Para garantir a correta entrega da dose, o acelerador linear de partículas deve ser capaz de controlar e realizar a variação de todos estes parâmetros simultaneamente. Neste trabalho foram realizados testes dosimétricos obtidos em literatura que tem por objetivo comissionar, implementar e garantir a qualidade dos tratamentos em VMAT realizados no Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP). Através dos resultados obtidos ficou estabelecido um programa de controle de qualidade para o acelerador linear estudado. Foram avaliados: estabilidade e a linearidade de resposta da câmara monitora, acurácia do posicionamento das lâminas, planura e simetria do feixe em situações semelhantes às de irradiações com VMAT. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura. Pode-se concluir que o acelerador estudado é capaz de controlar satisfatoriamente a variação de todos os parâmetros necessários para a realização da técnica VMAT.

Palavras-chave: radioterapia, controle de qualidade, radioterapia de intensidade modulada, radioterapia conformal.

Abstract

Radiotherapeutic techniques like VMAT allow complex dose distributions modulating the beam intensity within the irradiation field from the handling of multi-blade collimators, variations in dose rate, different speeds of rotation of the gantry and collimator angle allowing greater conformation of the dose to the tumor volume and a lower dose to healthy tissues. To ensure proper dose delivery, the linear particle accelerator must be able to monitor and perform all the variation in these parameters simultaneously. In this work dosimetric tests obtained in the literature that aims to commission, implement and ensure the quality of VMAT treatments were performed in the Institute of Cancer of São Paulo state (ICESP). From the results obtained it was established a program of quality control for the linear accelerator studied. The linearity and stability response of ionization chamber monitoring, leafs accuracy positioning, flatness and symmetry of beam to VMAT irradiations were evaluated. The obtained results are in agreement with the literature. It can be concluded that the accelerator studied is able to satisfactorily control the variation of all necessary parameters to perform the VMAT treatments.

Keywords: radiotherapy, quality control, radiotherapy, intensity-modulated, conformal radiotherapy.

Introdução

Um acelerador linear de partículas deve ser capaz de controlar e realizar alterações de parâmetros como movimentação de lâminas, taxa de dose, velocidade de rotação do gantry e ângulo de colimador para realizar técnicas de tratamento de alta tecnologia, como

radioterapia em arco modulada volumetricamente (VMAT)^{1,2}. Uma das formas de se verificar tal capacidade consiste em realizar o comissionamento do acelerador com medidas dosimétricas que tem por objetivo avaliar a capacidade do acelerador em realizar e controlar a variação dos parâmetros necessários para realização do VMAT.

Existem duas maneiras de realizar este comissionamento: avaliar a influência dosimétrica da variação dos parâmetros necessários para modular o feixe em VMAT de forma independentemente (velocidade de rotação do *gantry*, variação da taxa de dose, movimentação das lâminas e ângulo de colimador); ou através da verificação planar da dose através de um objeto simulador utilizado em conjunto com filmes ou um detector matricial, onde todos os parâmetros são variados ao mesmo tempo, pois nesta metodologia irradia-se o tratamento do paciente no objeto simulador. Não há na literatura um consenso a respeito de qual dos métodos é o mais seguro, pois cada um deles apresenta uma limitação. O primeiro método não assegura que o acelerador seja capaz de realizar a variação de todos os parâmetros simultaneamente com segurança². Já para o segundo método, estudos tem demonstrado que essa verificação planar pode gerar resultados falsos positivos e falsos negativos, ou seja, um caso com aprovação na análise gama pode resultar em um histograma dose volume diferente do planejado com consequências de não satisfazer os limites de dose para órgãos de risco³. Novos métodos têm sido propostos como complementares para a segunda alternativa e podem ser uma tendência futura da verificação de dose em radioterapia de intensidade modulada (IMRT), VMAT e Tomoterapia³.

Acredita-se que, para implementar o VMAT, seja necessário realizar ambos os métodos: o primeiro método pode apontar dificuldades do acelerador em variar um determinado parâmetro, como, por exemplo, não executar a rotação do *gantry* para altas velocidades. As limitações quantitativamente obtidas através do primeiro método de comissionamento podem ser inseridas no sistema de planejamento e melhorar a qualidade dos resultados obtidos no segundo método. Este trabalho aborda o primeiro método acima citado.

Material e Métodos

Uma coletânea de testes foi obtida através da investigação na literatura de todos os testes necessários para realizar VMAT em um acelerador linear. Foram escolhidos apenas os testes que se julgaram necessários.

Características da máquina estudada

A máquina estudada é um Acelerador Elekta Axesse equipado com um colimador Beam-Modulator (tamanho de campo máximo de 21x16 cm², sendo caracterizado pela ausência de *jaws*, com campos definidos apenas por um conjunto de 40 pares de lâminas, com 0,4 cm de espessura), capaz de realizar feixes de 6 MV e 15 MV. Entretanto, as medidas foram realizadas apenas para a energia de 6 MV, a única energia escolhida para realização de tratamentos com VMAT

na instituição no momento em que a pesquisa foi conduzida. A Figura 1 apresenta o acelerador em questão.

Testes dosimétricos para campos em Arco (constância e linearidade da câmara monitora)

Para avaliar a constância e a linearidade de resposta da câmara monitora do acelerador estudado, realizaram-se campos estáticos para angulações de *gantry* 0°, 90°, 180° e 270° e também campos em arcos de 180° a 360° no sentido horário e anti-horário, com diferentes taxas de dose e velocidade de rotação do *gantry*. O tamanho de campo utilizado foi de 10x10 cm². Foram utilizadas unidades monitoras de 37,5 a 600 UM, taxas de dose de 150 a 600 UM/s, resultando em diferentes velocidades de rotação do *gantry*. Desta forma, foi explorado o caso limite de variação destes parâmetros. A constância da câmara monitora foi avaliada através da comparação da dose entregue a uma câmara de ionização (PTW-30013 com volume de 0,6 cm³) posicionada no isocentro da máquina e no ar com capa de *build up* apropriada para o feixe estudado, para os mesmos níveis de dose em comparações campos estáticos *versus* campos estáticos e também campo estático *versus* campo em arco. A linearidade de dose foi estudada para campos estáticos e campos em arco.

Efeito da gravidade na movimentação das lâminas.

Construiu-se um campo com um *gap* de 3 cm que atravessa um tamanho de campo de 21x16 cm² no sistema de planejamento Ergo++(CMS, Elekta). O planejamento foi exportado para o sistema de Registro e Verificação Mosaiq 2.00X3 (Elekta) e executado para avaliar o efeito da gravidade na movimentação das lâminas em campos em arco com diferentes taxas de dose, velocidade de rotação do *gantry* e velocidade de lâminas. Campos estáticos com a mesma movimentação de lâminas, taxa de dose foram executados para angulações de *gantry* 0°, 90° e 270°: As medidas então obtidas foram comparadas com os campos em arco.



Figura 1. Acelerador Elekta Axesse.

Ao explorar o caso limite para todas as irradiações, orientou-se a angulação do colimador de forma a obter a maior influência da gravidade para cada campo estudado.

Avaliou-se a dose em uma câmara de ionização de volume $0,6 \text{ cm}^3$ posicionada no isocentro do equipamento com capa de *build up* adequada para o feixe estudado.

Planura e Simetria

O filme radiocrômico Gafchromic® EBT2 foi utilizado, avaliou-se a capacidade do acelerador manter constantes a planura e a simetria do feixe quando realizava arcos com diferentes taxas de dose e diferentes velocidades de rotação do *gantry*. Avaliou-se a planura e a simetria para a maior e a menor velocidade de *gantry* em combinações com a maior e menor taxa de dose em um arco de 360° , resultando em 4 medidas. As unidades monitoras foram selecionadas para satisfazer as condições desejadas. A medida de um campo estático a 0° grau foi obtida com propósitos de comparação com os campos em arco. Por questões de conveniência e facilidade de posicionamento com os acessórios disponíveis no serviço, os filmes foram posicionados a uma distância de 66,9 cm da fonte (com auxílio do acessório para utilização de blocos) com uma placa de acrílico suficiente para gerar *build up* para o feixe estudado.

Os filmes foram escaneados em um scanner vertical Vidar Dosimetry ProAdvantage®, seguindo orientação do fabricante. Perfis de dose nos sentidos crossline e inline foram obtidos através do software MatLab® na porção central do campo.

Verificação da posição da lâmina (teste tipo picket fence)

Para verificar a capacidade do colimador multi-lâminas assumir a posição prescrita pelo sistema de planejamento com precisão, um teste do tipo teste padrão de cercas (picket fence) foi construído. Para tanto, utilizou-se do sistema de planejamento Ergo++ (CMS, Elekta) versão 1.7.5. Uma estrutura cilíndrica com raio de base igual a 0,5 cm e altura de 16 cm foi desenhada, sendo que o isocentro do campo em arco foi posicionado no eixo da estrutura, porém externamente a ela, com a finalidade de construir a movimentação desejada para o teste *picket fence*. O campo planejado executa um movimento em arco de amplitude de 180° , iniciando a movimentação na angulação 180° e movimentando-se no sentido horário para a posição 0° . O campo foi copiado para o modo de execução *Service* e as unidades monitoras de cada segmento foram editadas para atingir o padrão desejado. Buscou-se avaliar a precisão do posicionamento das lâminas sob a influência da gravidade, de tal forma que o colimador foi posicionado em angulação em que haja uma maior influência da gravidade na movimentação das lâminas.

Este teste é complementar ao teste *picket fence* executado para IMRT, e por isso procurou-se avaliar neste teste a movimentação das lâminas uma em relação à outra, escolheu-se a lâmina 20. Uma imagem da irradiação foi obtida pelo dispositivo IView e foi analisada em um *software* desenvolvido em linguagem MatLab®. Este *software* localiza os pontos de máximo de cada perfil e compara com a localização do mesmo ponto de máximo para o perfil da lâmina 20, obtendo o desvio do posicionamento de cada lâmina em relação à lâmina 20.

Resultados

Constância da Câmara monitora

Observaram-se variações da constância do feixe de até $\pm 0,72\%$ e $-0,61\%$, para campos estáticos e em arco respectivamente, em relação a um campo estático com angulação de *gantry* 0° . Para os campos em arco, foram notados desvios maiores para taxas de dose maiores, 300 e 600 UM/s e para os menores tamanhos de arco estudados, 90 e 45 graus que, coincidentemente, para realização do arco com mesma velocidade, resultam em taxas de dose 300 e 600 UM/s.

Obteve-se que a câmara monitora apresenta uma linearidade de resposta comparativamente com uma câmara cilíndrica de $0,6 \text{ cm}^3$, com coeficiente de correlação igual a 1,00 para os dois casos de irradiação estudados. A Figura 2 apresenta a regressão linear para o caso de campos em arco.

Efeito da Gravidade na movimentação das lâminas (teste dosimétrico)

Foram realizadas cinco configurações de irradiações com diferentes taxas de dose, velocidades de movimentação das lâminas e para os campos em arco diferentes velocidades de rotação do *gantry*. Foram encontrados desvios de até $\pm 1,05\%$ com o *gantry* estático. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os campos em arco. Na análise comparativa entre os campos em arco com angulação de *gantry* 0° , foram encontrados desvios de até $\pm 1,53\%$. Os maiores desvios encontrados correspondem a maior velocidade de rotação do *gantry*.

Planura e Simetria do Feixe

A Tabela 2 apresenta a configuração das irradiações para avaliar a planura e a simetria do feixe durante realização de arcos. A Figura 3 apresenta os perfis obtidos para o sentido *crossline*.

Uma análise qualitativa da Figura 3 permite concluir que a Planura e a Simetria do feixe para irradiações em arco tem comportamento semelhante à irradiação com o *gantry* estático. Os ruídos nos perfis são atribuídos à validade dos filmes radiocrômicos empregados

neste estudo. Foi obtido que as planuras estão dentro dos limites aceitáveis (<±3%). A simetria neste caso foi avaliada de forma relativa à irradiação executada com o gantry a 0°, para avaliar o quanto a simetria do feixe desvia-se da irradiação com o gantry a 0°. Os desvios encontrados foram menores que ±2%, sendo considerados, portanto, como sendo satisfatórios.

Precisão do posicionamento das lâminas durante o Arco (picket fence)

O painel do IView foi centralizado e orientado adequadamente em relação ao feixe do acelerador através da realização do teste realizado pelo software AutoCal®. Também foi avaliado o tamanho do pixel pelo software

AutoCal®, tendo sido encontrado um valor de 0,3 mm. A irradiação foi executada e a imagem obtida foi exportada para análise em software desenvolvido em linguagem MatLab®. A Figura 4 apresenta a imagem obtida.

Foram obtidos 40 perfis a partir da Figura 3, cada um posicionado no centro de um dos conjuntos de lâminas: cada perfil possui 6 picos seguindo o padrão planejado para o teste picket fence em arco. Foi avaliada a diferença da posição destes picos em relação ao perfil da lâmina 20. Os resultados destas diferenças podem mostrar qual a influência da gravidade na movimentação das lâminas durante o arco.

Todos os desvios avaliados foram menores que 1 mm no isocentro.

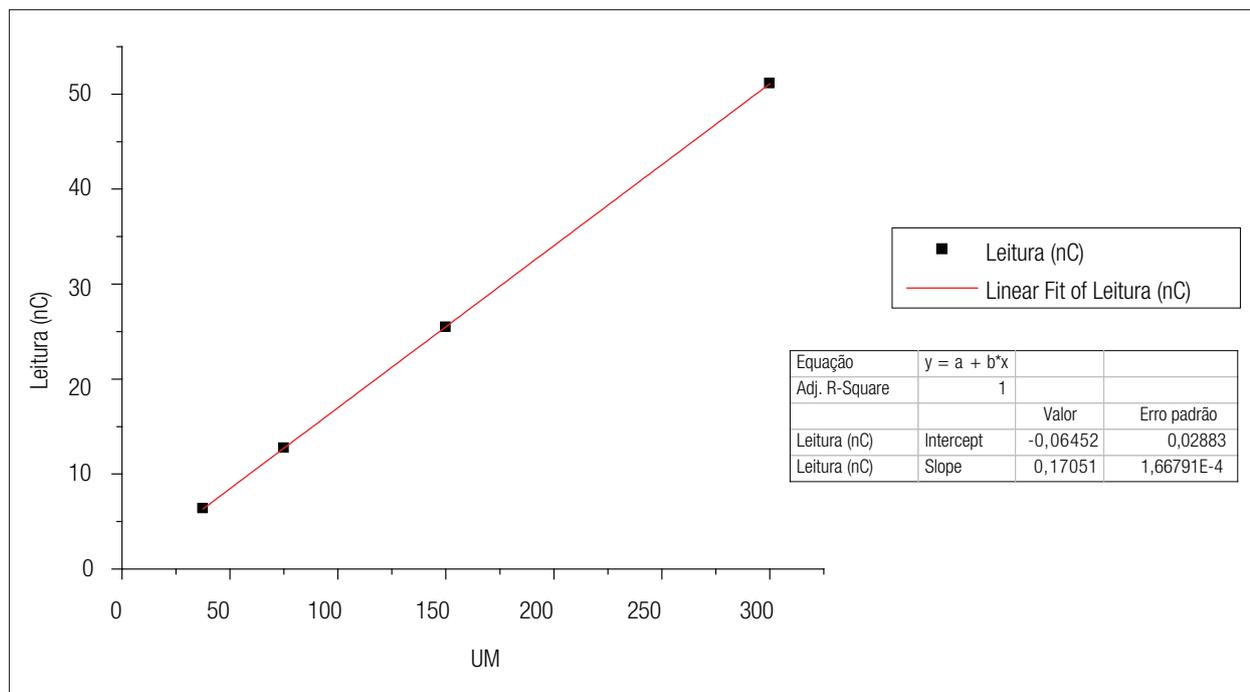


Figura 2. Linearidade de resposta da câmara monitora comparativamente com uma câmara de ionização de volume 0,6 cm³ para campos em arco.

Tabela 1. Influência da gravidade na movimentação das lâminas, campos em arco.

UM	Taxa de Dose Nominal (UM/s)	Taxa de Dose Executada (UM/s)	Veloc. Gantry (°/s)	Leitura média (nC)	Desvio (%)
600	600	578	4	11,87±0,05	-1,06
400	300	289	2,27	7,86±0,00	-1,31
200	300	288	4,5	3,93±0,05	-1,49
200	600	288	4,5	3,93±0,05	-1,53
300	300	289	2,27	5,90±0,05	-1,28

Tabela 2. Geometria das irradiações para avaliar planura e simetria do feixe quando realiza arcos com diferentes taxas de dose e velocidades de rotação do gantry.

	Velocidade do gantry (°/s)	UM	Taxa de Dose (UM/min)	Tamanho Arco (°)
Filme 1	3	75	75	360
Filme 2	4	112,5	150	360
Filme 3	4,5	200	300	360
Filme 4	4,5	400	600	360
Filme 5	estático	112,5	150	gantry 0°

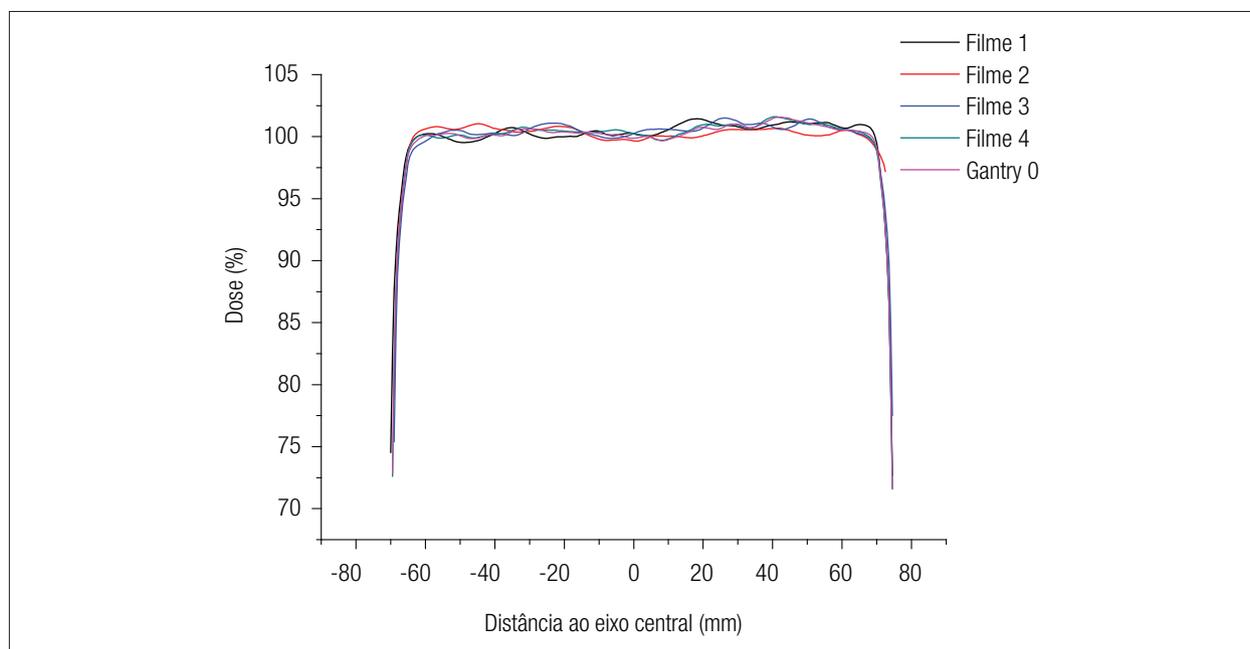


Figura 3. Perfil obtido para o sentido *crossline*.

Discussão e Conclusões

Os desvios encontrados para a estabilidade do sistema dosimétrico da máquina foram $<\pm 0,71\%$ para os testes realizados. Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com os obtidos na literatura², o qual encontrou para este teste desvios de até $\pm 0,5\%$. Este teste deve ser realizado como controle de qualidade do acelerador com a frequência semestral, dado o pequeno erro encontrado e a pequena possibilidade de variação do parâmetro.

A avaliação dosimétrica da movimentação das lâminas sob a influência da gravidade apresentou diferenças de até $\pm 1,53\%$ para campos em arco e $\pm 1,05\%$ para campos estáticos. Os resultados apresentaram uma diferença de $+0,5\%$ em relação aos resultados da literatura para os campos em arco. Tal variação pode ser considerada como aceitável clinicamente por estar dentro da incerteza de dose aceita em Radioterapia, que é de $\pm 3\%$. Este teste pode ser realizado com uma frequência trimestral, já que foram obtidos desvios maiores que $\pm 1\%$ para campos em arco.

A planura do feixe manteve-se estável para execução de arcos dentro de valores aceitáveis ($<\pm 1\%$, sendo o aceitável $<\pm 3\%$). Apesar de os valores encontrados serem bem menores do que o aceitável ($\pm 3\%$), a planura do feixe é um parâmetro de grande influência nas distribuições de dose, principalmente em técnicas com modulação de intensidade do feixe. Portanto, torna-se necessário sua verificação mensal.

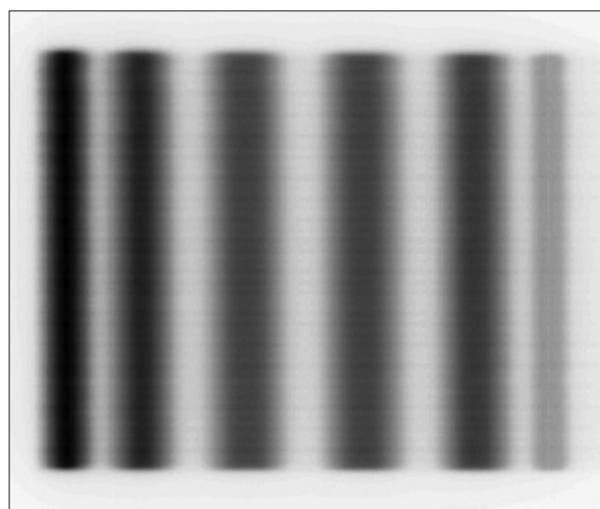


Figura 4. Imagem obtida no IView para o teste *picket fence*.

A simetria do feixe foi analisada relativamente à irradiação com o *gantry* a 0° , os desvios encontrados foram menores que $\pm 2\%$. Tal como a planura, a simetria do feixe é um parâmetro de grande influência nas distribuições de dose, e conseqüentemente, deve ser verificada mensalmente.

A precisão no posicionamento das lâminas na execução de um arco como os realizados em VMAT foi estudada através da elaboração de um teste *picket fence*: os desvios encontrados foram menores ou iguais a 1 mm, sendo considerados satisfatórios. Este teste deve ser realizado com frequência mensal para garantir a qualidade dos tratamentos com VMAT.

Conclui-se que o acelerador em questão pode realizar VMAT com segurança. Entretanto, este trabalho não descarta a necessidade da realização de testes do tipo *end-to-end*, que garantem a correta transferência de dados do sistema de planejamento para o sistema de registro e verificação e posteriormente para o acelerador linear. Pode-se estabelecer um programa de garantia da qualidade do acelerador linear com frequência baseada nos resultados obtidos.

Referências

1. Dobler B, Groeger C, Treutwein M, Alvarez-Moret J, Goetzfried T, Weidner K, et al. Commissioning of volumetric modulated arc Therapy (VMAT). *Radiother Oncol.* 2011;99(1):86-9,.
2. Kaurin DGL, Sweeney LE, Marshall EI, Mahendra S. VMAT testing for an Elekta Accelerator. *J Appl Clin Med Phys.* 2012;13(2):3725.
3. Nelms BE, Zhen H, Tomé WA. Per-beam, planar IMRT QA passing rates do not predict clinically relevant patient dose errors. *Med Phys.* 2011;38(2):1037-44.