

Verificação de planejamentos de RapidArc™ com algoritmo AAA usando um fantoma heterogêneo 3D

Verification of RapidArc™ planning with AAA algorithm using an inhomogeneous 3D phantom

Cássia Trindade, Leonardo P. Silva, Roberto S. Souza, Delano V. L. Batista, Laís P. Martins, Máira R. Santos e Paulo L. Garcia

Instituto Nacional de Câncer – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Resumo

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para a melhoria da verificação da garantia de qualidade dos planejamentos com feixes modulados. Uma alternativa para os altos custos de equipamentos de dosimetria foi desenvolver um fantoma 3D, utilizando TLDs e filme radiocrômico, projetado pelo Programa de Qualidade em Radioterapia (PQRT) do INCA. Os cálculos foram feitos usando o algoritmo AAA, com correção de heterogeneidade, inserindo assim, diversas heterogeneidades no volume deste fantoma. Realizaram-se cinco irradiações correspondente aos planejamentos realizados com RapidArc™, uma vez que o fantoma foi tomografado para otimização. A proposta do trabalho é a verificação 3D da distribuição de dose gerada no fantoma heterogêneo. O desvio médio encontrado no volume alvo planejado foi menor que $\pm 5\%$. Já para as outras heterogeneidades a dispersão dos resultados ficou mais elevada, o desvio pontual máximo obtido, por exemplo, na heterogeneidade correspondente à bexiga foi de 7,41%. O desvio padrão máximo encontrado para dois casos foi em torno de 9% para a heterogeneidade do alvo e de 11% entre as demais heterogeneidades. O fantoma pode se tornar um equipamento interessante para verificação de planejamentos com RapidArc™, porém são necessárias maiores estatísticas para se obter melhores resultados para as análises das distribuições de dose.

Palavras-chave: controle de qualidade, radioterapia, planejamento da radioterapia assistida por computador, radioterapia conformal.

Abstract

New technologies have been developed to improve the quality assurance of the plannings with modulated beams. One way to deal with the high costs of the dosimetry equipments was to develop a 3D phantom, using TLDs and radiocromic film, designed by the Radiotherapy Quality Program of INCA. The calculus was done using the AAA algorithm with heterogeneity correction, making the phantom rather heterogeneous. Five measurements related to the RapidArc™ planning were taken, once there was the phantom CT for optimization. The purpose of this work is a 3D verification of the dose distribution in the heterogeneous phantom. The mean deviation in planning target volumes was lower than $\pm 5\%$. On the other side, the results dispersion for the others heterogeneities was higher, the maximum mean deviation obtained, for example, for the heterogeneity related to the bladder, was 7.41%. The maximum standard deviation found for both cases was around 9% for the target heterogeneity and 11% for the other heterogeneities. The phantom might be an interesting tool in order to verify the RapidArc™ planning, however, more statistical data is necessary as to achieve better results for the analysis of dose distribution.

Keywords: quality assurance, radiotherapy, computer-assisted radiotherapy planning, conformal radiotherapy.

Introdução

Devido aos novos avanços nos tratamentos radioterápicos — como, por exemplo, a Técnica de Modulação de Arco Volumétrico (VMAT) — as ferramentas usadas na verificação dos planejamentos também vêm sendo aprimoradas. Equipamentos que utilizam câmaras de ionização ou diodos como forma de detecção são amplamente comercializados para uso em clínicas, porém, possuem um custo elevado.

Com o intuito de difundir para todo o Brasil o uso de ferramentas econômicas para controle de qualidade de planejamentos de IMRT e VMAT, o Programa de Controle de Qualidade (PQRT) do INCA desenvolveu um fantoma 3D, com diferentes densidades volumétricas, que faz uso de dosímetros termoluminescentes (TLDs) e filme radiocrômico para a verificação da dose entregue. O TLD (LiF:Mg,Ti) é um dosímetro muito eficaz, pois possui alta sensibilidade até para doses pequenas, tem uma resposta pouco dependente

da energia dos fótons, por ser um material “tecido equivalente”, e também é estável¹. Além disso, possui eficiência termoluminescente intrínseca de aproximadamente 0,04%². Os filmes radiocrômicos possuem alta resolução espacial, também são quase “tecido equivalentes”, e praticamente independem da energia do fóton³.

Dentre as evoluções da radioterapia, destaca-se também os algoritmos de cálculo de dose inseridos nos *softwares* de planejamento. A *Varian Medical Systems*, por exemplo, desenvolveu o *anisotropic analytical algorithm* (AAA), que calcula a distribuição de dose de forma mais precisa que o antigo *Pencil Beam Convolution*. Os *pencil beams* no AAA incluem contribuições de três fontes separadamente — fótons primários, fótons extrafocais e contaminação por elétrons. Cada fonte é associada a uma fluência, a uma função de densidade de deposição de energia e a um núcleo espalhado. Dessa forma, as considerações das heterogeneidades intrínsecas ao algoritmo têm mais exatidão⁴.

O objetivo desse trabalho é verificar a distribuição tridimensional de dose em um fantoma heterogêneo volumétrico, desenvolvido pelo Programa de Controle de Qualidade (PQRT), utilizando a técnica de VMAT (RapidArc™) e o algoritmo AAA com correção de heterogeneidade.

Material e Métodos

O fantoma utilizado no trabalho possui quatro heterogeneidades distintas, sendo: uma correspondente a tecido tumoral, uma heterogeneidade correspondente à bexiga, uma heterogeneidade próxima à densidade do reto e duas heterogeneidades simulando ossos como, por exemplo, os fêmures.

O primeiro passo foi tomografar o fantoma e realizar um plano de tratamento utilizando a técnica de RapidArc™, método de IMRT onde a dose é precisamente entregue usando feixes rotacionais dentro de um tempo muito menor do que um IMRT convencional. O RapidArc pode girar 360° em torno do paciente, permitindo feixes muito pequenos com variação de intensidade que será dada ao tumor por múltiplos ângulos⁵⁻⁷

Para a otimização do planejamento, foi desenhado o alvo no centro do fantoma e as quatro heterogeneidades correspondentes aos órgãos de risco em torno deste. Além disso, também foram desenhados os volumes correspondentes aos TLDs de cada heterogeneidade, como mostra a Figura 1.

Após a conclusão do planejamento, os TLDs foram inseridos em pontos estratégicos do volume do fantoma, e o filme radiocrômico inserido no plano do isocentro (centro geométrico). O fantoma foi irradiado duas vezes, de acordo com o posicionamento ilustrado na Figura 2. As leituras obtidas nos TLDs foram denominadas M1 e M2 para a primeira e segunda medida, respectivamente.

Após a irradiação, os TLDs foram lidos e as leituras médias obtidas para cada volume com densidade diferente foram comparadas com as doses calculadas pelo algoritmo AAA com a correção de heterogeneidade ligada. A distribuição

de dose no plano do isocentro obtida no filme também foi comparada à matriz de dose calculada.

O fantoma também foi irradiado como instrumento de controle de qualidade, realizando-se outros três planejamentos em pacientes em tratamento de próstata. Após a otimização do planejamento, as fluências de dose foram exportadas para a tomografia do fantoma e este foi irradiado da mesma forma descrita anteriormente. A distribuição de dose calculada de um dos casos realizados está ilustrada na Figura 3. As três leituras obtidas nos TLDs foram denominadas M3, M4 e M5.

Resultados

Os resultados obtidos foram divididos em análise da dose entregue no PTV (*Planning target volume* – Volume alvo planejado) e a dose entregue nos órgãos de risco. A distribuição de dose no volume alvo é mais homogênea, dessa forma foi possível fazer uma análise da média dos desvios encontrados para cada leitura de TLD. A incerteza da leitura do TLD é de $\pm 1,93\%$ ⁷.

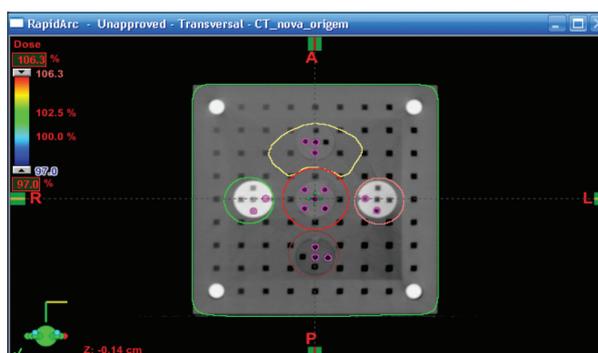


Figura 1. Corte axial do fantoma com todos os contornos.



Figura 2. Setup de posicionamento do fantoma.

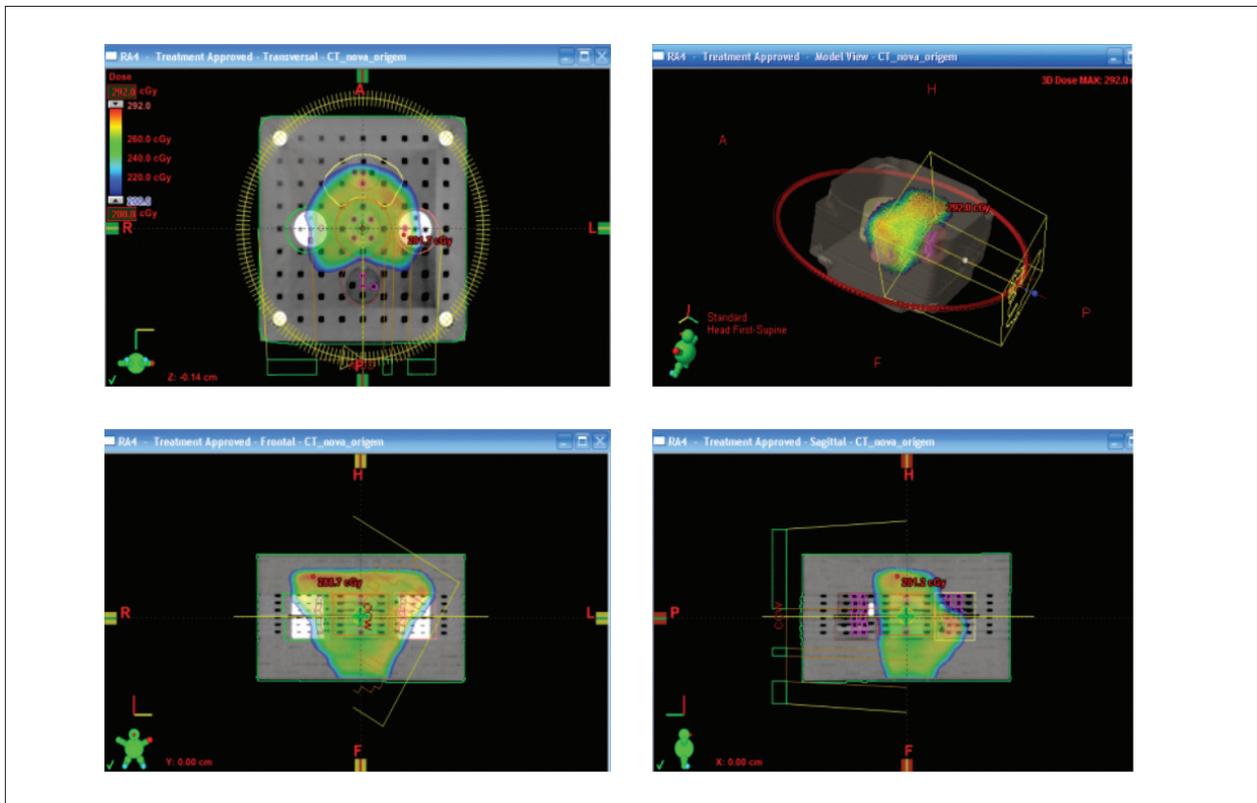


Figura 3. Controle de qualidade gerado com o fantoma 3D e calculado pelo algoritmo AAA.

A Figura 4 mostra a dispersão dos desvios encontrados nos 29 TLDs inseridos no volume alvo para os cinco casos totais medidos (M1, M2, M3, M4 e M5).

Todas as médias dos desvios ficaram abaixo de $\pm 5\%$, como mostra a Tabela 1.

A análise da leitura dos TLDs nos órgãos de risco torna-se mais complexa devido à heterogeneidade da distribuição de dose nos volumes. Dessa forma, foram escolhidos para análise os TLDs que estavam em regiões mais homogêneas de dose, pois os desvios encontrados em regiões de alto gradiente foram bem elevados, tornando-se difícil uma análise fidedigna da distribuição de dose.

Para todas as heterogeneidades (bexiga, reto, fêmur esquerdo e fêmur direito), foram analisados um TLD em cada placa do fantoma, totalizando seis TLDs por órgão.

As Figuras 5 a 8 mostram as dispersões dos desvios de dose desses TLDs nas quatro heterogeneidades para as cinco medidas realizadas.

Dos desvios encontrados, em torno de 35% deles foram maiores que $\pm 5\%$, e esses valores aumentam se a análise for somente feita nas heterogeneidades dos fêmures, as quais possuem densidade próxima ao osso. Os altos desvios encontrados nessa região se devem a um problema intrínseco ao material da heterogeneidade, que já foi observado em trabalhos anteriores⁷.

Dos filmes utilizados, apenas o da segunda medida foi possível ser analisado. Os demais sofreram alterações

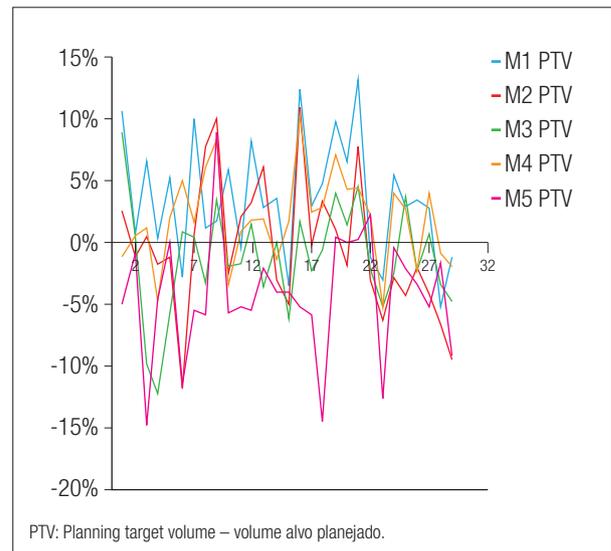


Figura 4. Dispersão das leituras dos dosímetros termoluminescentes inseridos no volume do volume alvo planejado.

Tabela 1. Desvios médios encontrados no volume do volume alvo planejado para as cinco medidas.

	M1	M2	M3	M4	M5
Desvio Médio	3,50%	-0,42%	-1,14%	1,88%	-4,34%

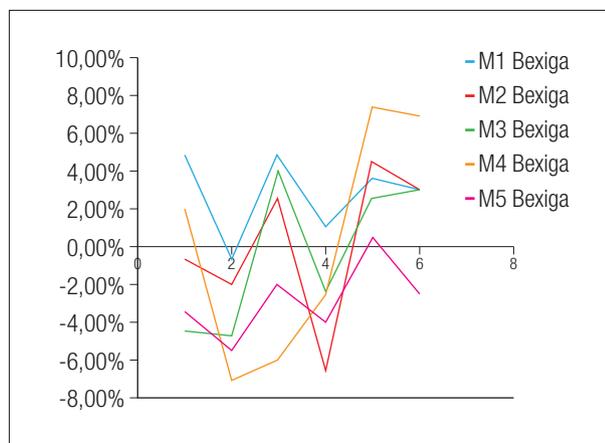


Figura 5. Dispersão das leituras da heterogeneidade correspondente à bexiga para as cinco medidas.

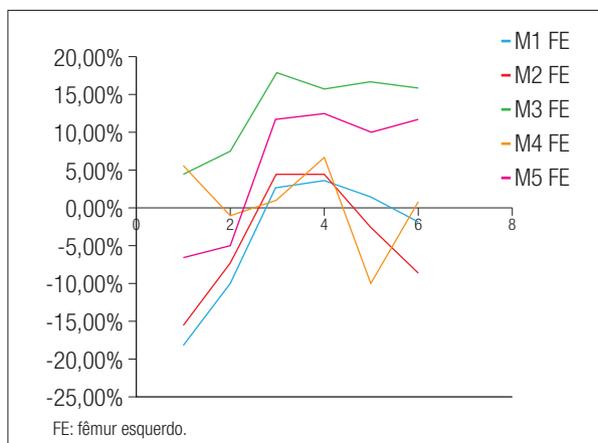


Figura 7. Dispersão das leituras da heterogeneidade correspondente ao fêmur esquerdo (FE) para as cinco medidas.

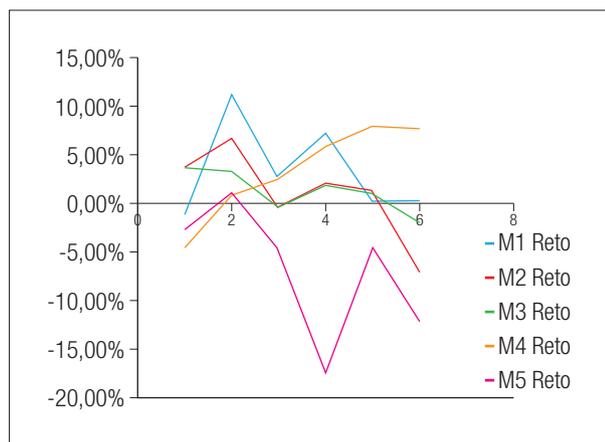


Figura 6. Dispersão das leituras da heterogeneidade correspondente ao reto para as cinco medidas.

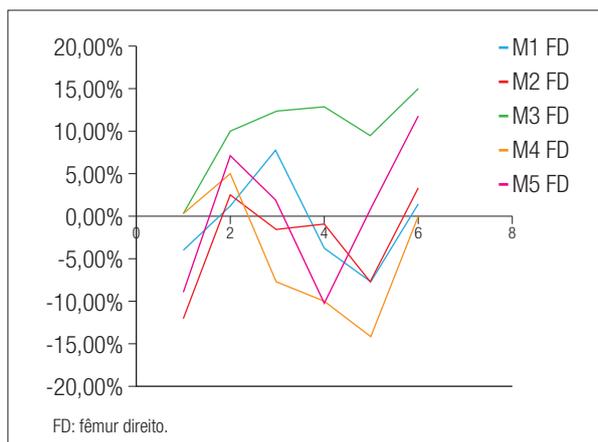


Figura 8. Dispersão das leituras da heterogeneidade correspondente ao fêmur direito (FD) para as cinco medidas.

físicas durante o procedimento de inserção no fantoma, descredenciando qualquer análise feita após a irradiação. O critério utilizado para analisar o filme radiocrômico, em boas condições físicas, foi o índice gama, e o resultado obtido foi uma aprovação de 91% dos pontos analisados, considerando o critério de aceitação de 3 mm para o *distance to agreement* (DTA) e nível de tolerância de dose de 5%. A análise do controle encontra-se na Figura 9.

Discussão e Conclusões

Os resultados encontrados para as leituras dos TLDs no volume alvo foram bons, com desvio médio total menor que $\pm 5\%$. Por mais que a distribuição no PTV seja razoavelmente homogênea, algumas regiões de

alto gradiente foram observadas, resultando em desvios pontuais maiores que $\pm 10\%$.

Nas análises das heterogeneidades correspondentes aos órgãos de risco, os desvios pontuais foram maiores devido a grande heterogeneidade de dose presente nos volumes. Aproximadamente 35% dos pontos ficaram com um desvio acima de $\pm 5\%$, sendo a maior parte deles localizados nas heterogeneidades correspondentes aos ossos. A dispersão na heterogeneidade correspondente à bexiga foi menor, com desvio máximo de 7,41%, pois os TLDs estavam inseridos em uma região mais homogênea de dose.

Para as situações M1 e M2, onde o fantoma foi irradiado duas vezes com o mesmo planejamento, foi possível realizar uma análise da reprodutibilidade dos resultados. A alta dispersão encontrada em alguns casos é causada também pela pouca estatística disponível. O desvio

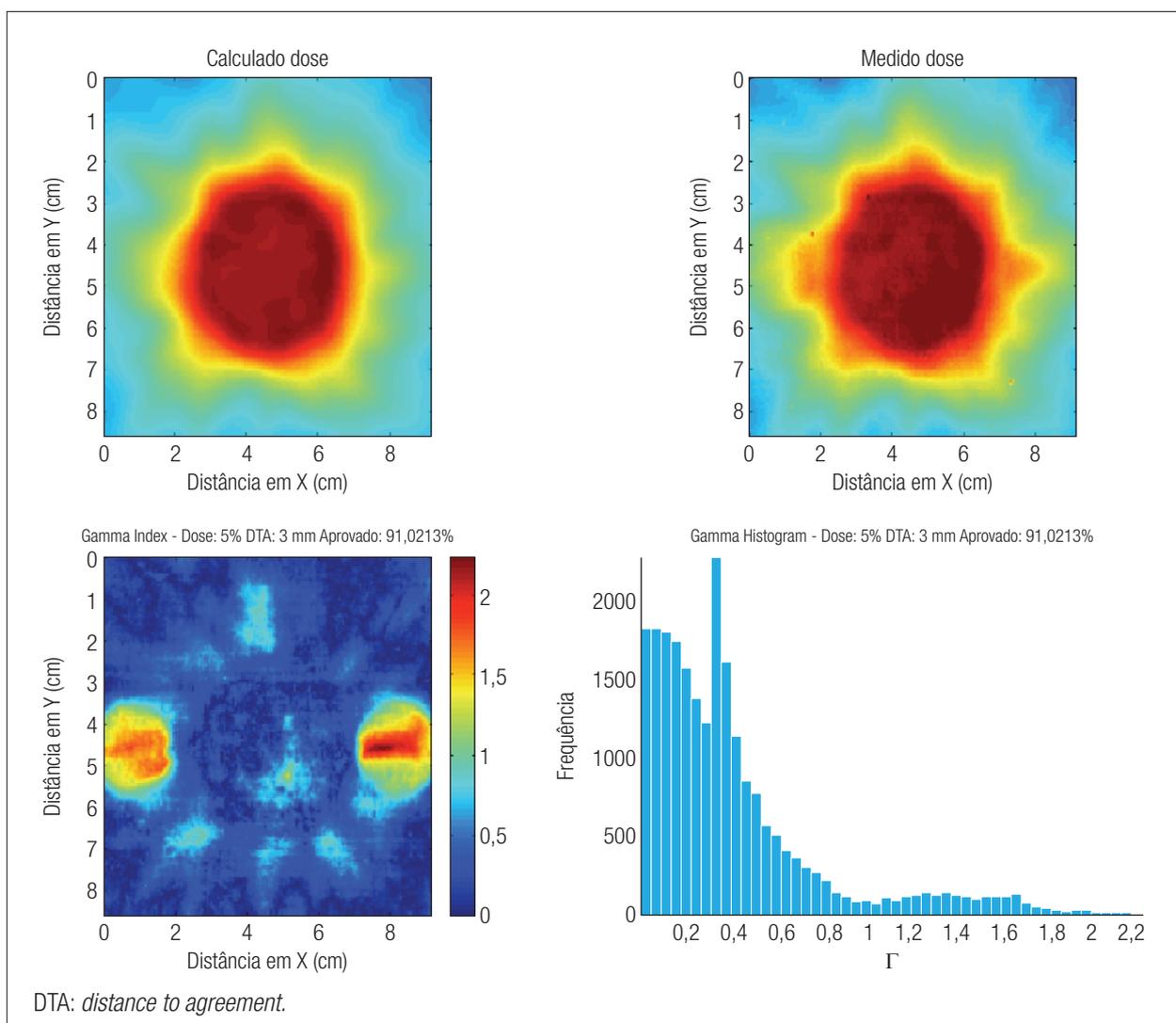


Figura 9. Análise do filme radiocrômico pelo critério gama 3 mm – 5%.

padrão máximo encontrado nos pontos do PTV foi de 8,86%, e entre as heterogeneidades o desvio padrão máximo encontrado foi de 10,86%. Esse alto desvio padrão sugere uma maior repetitividade das medidas para a obtenção de melhores resultados.

O uso do filme radiocrômico ficou comprometido na maioria das medidas, porém o resultado de 91% de aprovação para a medida M2 foi razoável, pois a região de maior reprovação foi referente à heterogeneidade dos ossos que também apresentou desvios maiores nos TLDs. Especificamente nesse planejamento, os TLDs nos fêmures localizavam-se em regiões de maior gradiente de dose.

Em um planejamento realizado com RapidArc™ e utilizando o algoritmo AAA com correção, conclui-se que o fantoma 3D pode se tornar uma ferramenta adequada para a verificação da distribuição de dose. As doses

encontradas no PTV são próximas às doses calculadas no TPS, com um desvio médio de $\pm 5\%$. Porém, para uma melhor estatística nas outras heterogeneidades, deve-se realizar as medidas de controle de qualidade de duas a três vezes por paciente. Além disso, os físicos poderiam, antes de irradiar o fantoma, verificar as regiões de maior homogeneidade de dose e inserir os TLDs nesses locais.

Agradecimentos

Agradeço ao pessoal do PQRT pela ajuda no projeto e em especial ao físico Roberto Salomon pela doação do fantoma e conselhos fundamentais ao trabalho, e também ao técnico Paul Clivland pela grande ajuda na leitura dos TLDs.

Referências

1. McKheever SWS, Moscovitch M, Townsend PD. Thermoluminescence Dosimetry Materials: Properties and Uses. Nuclear Technology Publishing; 1995.
2. Attix FH. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. USA: John Wiley & Sons; 1986.
3. Gafchromic® EBT2 self-developing film for radiotherapy dosimetry. USA: International Specialty Products; 2010.
4. Bragg CM, Wingate K, Conway J. Clinical implications of the anisotropic analytical algorithm for IMRT treatment planning and verification *Radiother Oncol.* 2008;86(2):276-84.
5. Yu CX. Intensity-modulated arc therapy with dynamic multileaf collimation: An alternative to tomotherapy. *Phys Med Biol.* 1995;40(9):1435-49.
6. Yu CX, Li XA, Ma L, Chen D, Nagvi S, Shepard D, et al. Clinical implementation of intensity-modulated arc therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2002;53(2):453-63.
7. Souza SR. Desenvolvimento de um sistema para controle de qualidade em radioterapia de intensidade modulada (IMRT). UFRJ/COPPE; 2012.