

Avaliação das ferramentas de controle da qualidade para pacientes submetidos ao IMRT

Evaluation of quality control tools for patients submitted to IMRT

Milton Lavor, Laura N. Rodrigues e Marco A. Silva

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

Resumo

Atualmente, a radioterapia de intensidade modulada (IMRT) está sendo implementada em um número crescente de centros no Brasil. Conseqüentemente, muitas instituições apresentam dificuldade em executar um programa de controle da qualidade antes e durante a execução do IMRT na prática clínica. Este trabalho propõe uma metodologia de controle da qualidade e apresenta os resultados e avaliações dos dados obtidos a partir da metodologia proposta. Uma câmara de ionização e um detector bidimensional foram utilizados para avaliar a dose absoluta total de todos os campos de um planejamento de IMRT. A distribuição de dose relativa total de todos os campos foi medida com filmes radiocrômicos e um detector bidimensional em um objeto simulador. Uma comparação entre as distribuições de dose medidas e calculadas foi realizada usando o método do valor gama, avaliando o percentual de pontos que satisfazem os critérios de diferença dose de $\pm 3\%$ e distância de concordância de ± 3 mm. Com o resultado e análise da dosimetria absoluta de 113 feixes de IMRT medidos com uma câmara de ionização e 81 feixes usando o detector bidimensional, foi proposto um nível de ação de cerca de $\pm 5\%$ em relação ao sistema de planejamento e de tratamento para a verificação da dose em um único ponto na região de baixo gradiente de dose. A análise das medições com o detector bidimensional mostrou que o valor da função gama foi < 1 para 97,7% dos dados e para o filme o valor da função gama foi < 1 para 96,6% dos dados. Com este trabalho, pode-se estabelecer os níveis de ação requeridos para o programa de controle da qualidade proposto e implementado no Serviço de Radioterapia - Hospital das Clínicas de São Paulo que permite uma entrega exata de dose em IMRT *sliding-window* com um colimador micro multilâminas.

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

Abstract

Intensity modulated radiation therapy (IMRT) is currently being implemented in a rapidly growing number of centers in Brazil. As consequence many institutions are now facing the problem of performing a comprehensive quality control program before and during the implementation of IMRT in the clinical practice. This paper proposes a methodology for quality control and presents the results and evaluations of the data obtained from the proposed methodology. Ionization chamber and two-dimensional array detector were performed in IMRT treatment planning in order to assess the absolute value of the total dose of all fields. The relative total dose distribution of all fields was measured with a radiochromic film and a two-dimensional array in a phantom. A comparison between measured and calculated dose distributions was performed using the gamma-index method, assessing the percentage of points that meet the criteria of $\pm 3\%$ dose difference and ± 3 mm distance to agreement. As a result and review of 113 tested IMRT beams using ionization chamber and 81 using two-dimensional array, the proposal was to take an action level of about $\pm 5\%$ compared to the treatment planning systems and measurements, for the verification of the dose in a single point at the low gradient dose region. Analysis of the two-dimensional array measurements showed that the gamma value was < 1 for 97.7% of the data and for the film the gamma value was < 1 for 96.6% of the data. This work can establish action levels required for quality control program proposed and implemented in the Department of Radiotherapy - Hospital das Clinicas in Sao Paulo that allows an accurate delivery of dose in "sliding-window" IMRT with micro multileaf collimator.

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

Introdução

A técnica de radioterapia de intensidade modulada (IMRT) é uma evolução da radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT) por ser capaz de modular o feixe de tratamento, oferecendo assim uma intensidade maior de dose

na área de interesse e poupando áreas onde esta intensidade não é desejada; ou seja, próxima aos órgãos de risco. Com isto, consegue-se irradiar tumores bastante irregulares e, sobretudo, côncavos, sem causar excessiva exposição à radiação dos tecidos normais adjacentes. Existem dois métodos para a entrega de IMRT: o modo dinâmico

“sliding-window”; e o modo estático *step-and-shoot*, utilizando colimador multilâminas (MLC)¹⁻³.

Devido à maior complexidade da técnica de IMRT, sua aplicação clínica requer um controle de qualidade específico para cada paciente submetido a este tratamento. Após a aprovação do plano de tratamento, o mesmo deve ser verificado por um controle de qualidade, no qual são verificadas as distribuições de doses que deverão ser administradas ao paciente⁴⁻⁶.

O valor *gama*⁴ permite a comparação de uma distribuição de dose absorvida calculada com a distribuição de dose absorvida medida a partir de uma avaliação de quão perto a distribuição calculada corresponde com a distribuição medida. O valor *gama* aumenta com o aumento da distância de concordância e da diferença de dose entre os valores medidos e calculados. Pode-se imaginar um plano de pontos calculados (r_c) que também contém pontos medidos (r_m), no qual é plotada uma superfície de diferença dose absorvida $\delta(r_m, r_c)$ ⁴. A Figura 1 apresenta um elipsóide centrado em r_m , com eixo de maior comprimento em distância de concordância (Δd_M) e menor em diferença de dose (ΔD_M), em que o valor *gama* (P) < 1 de acordo com a equação ao lado. Se o ponto se enquadra no critério da elipse (resultado da equação menor que 1), ele é “aprovado”^{7,8}.

Este trabalho tem por objetivo propor e avaliar uma metodologia para o controle da qualidade do tratamento a ser posteriormente aplicado no paciente. Também foram estabelecidos os níveis de ação requeridos baseados nos

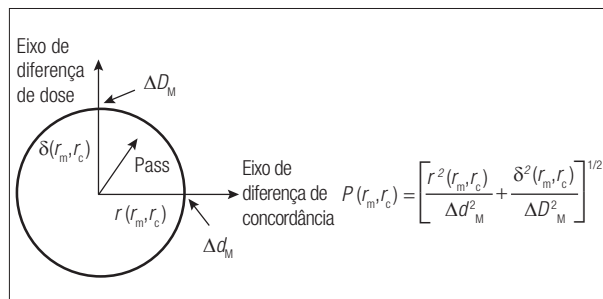


Figura 1. Elipsóide e equação do valor *gama* que descreve um espaço ortogonal definido por uma dimensão de distância de concordância e uma dimensão de diferença dose⁴.

limites estabelecidos pelo programa de controle de qualidade proposto, avaliadas as ferramentas dosimétricas mais adequadas para este fim e investigados os fatores que possam influenciar o controle da qualidade de acordo com ESTRO Booklet N° 9³ e ICRU Report 83¹.

Materiais e Métodos

Para a obtenção dos dados apresentados, foi utilizado o Acelerador Linear Varian 6EX com colimador micro MLC m3 BrainLab do Serviço de Radioterapia do Hospital das Clínicas de São Paulo.

Este trabalho propõe uma metodologia para o controle de qualidade individual, que é realizado em cinco etapas:

1. Aquisição das imagens tomográficas do sistema dosimétrico (composto por câmara de ionização CC01, detector matricial 2D ÍmRT Matrixx, filme radiocrômico GAFCHROMIC e placas de água sólida RW3), exportação das fluências de cada campo para o objeto simulador e cálculo das curvas de isodoses. Deve-se verificar se a câmara está em uma região de baixo gradiente de dose. Esta etapa ocorre no sistema de planejamento iPlan 4.1 e fornece assim os dados calculados;
2. Transferência dos dados calculados para o sistema de análise dosimétrica comparativa OmniPro IMRT e transferência do plano de tratamento para o sistema de gerenciamento MOSAIQ que executa o tratamento no sistema dosimétrico de três possíveis configurações para medidas, mostradas na Figura 2;
3. Dosimetria absoluta com câmara de ionização ou detector matricial 2D (sistema relativo de medida calibrado a partir de um “setup” com campo 10x10 cm², posicionado no raio central, profundidade de 6,0 cm, distância foco superfície do detector de 99,7 cm e 100 UM) que fornece os dados medidos de dose absoluta total;
4. Dosimetria relativa com detector matricial 2D ou filme radiocrômico que fornece os dados medidos de distribuição de dose relativa total. Para a avaliação da dosimetria relativa, os filmes devem ser digitalizados sem processamento de imagens e exportados para o software OmniPro IMRT, onde é feita análise dosimétrica;

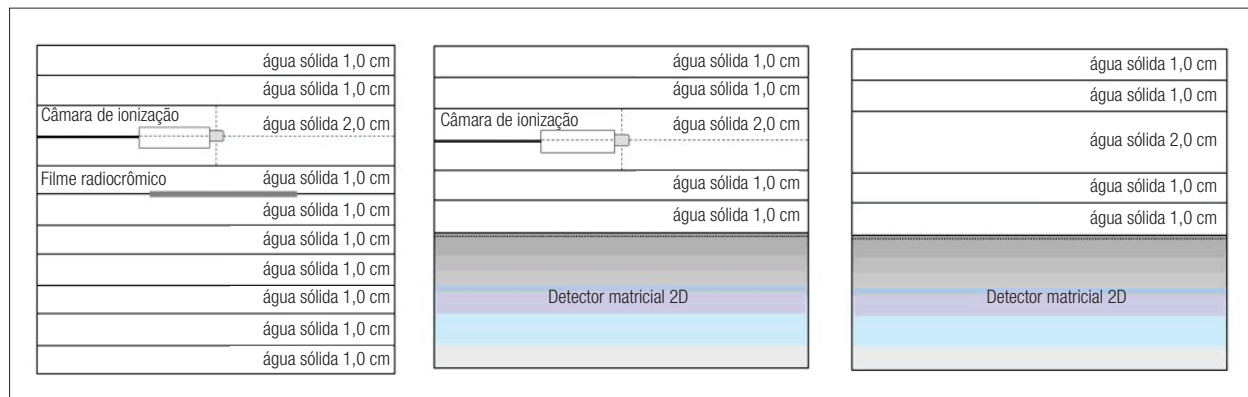


Figura 2. Configurações de medida para dosimetria relativa e absoluta.

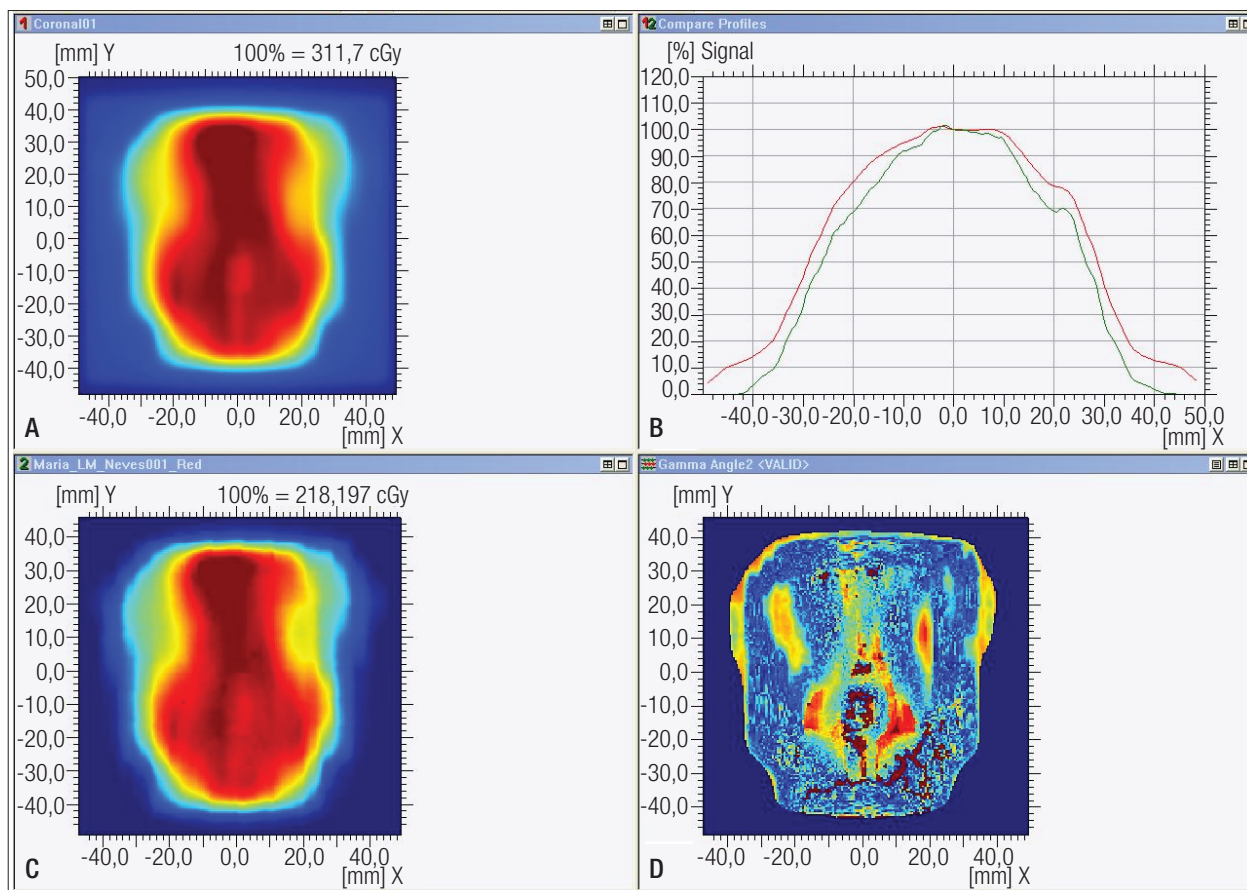


Figura 3. Software OmniPro IMRT utilizado para a verificação dosimétrica. (A) Visualização da distribuição de dose calculada pelo sistema de planejamento. (B) Visualização da distribuição de dose medida no detector bidimensional. (C) Comparação por sobreposição do perfil de dose calculado pelo sistema de planejamento e do medido pelo detector bidimensional. (D) Análise gama comparando a distribuição de dose calculada com a distribuição de dose medida.

5. Análise dos resultados dosimétricos calculados e medidos pelo método do valor gama, empregando diferença de dose de $\pm 3\%$ e distância de concordância de ± 3 mm como critérios de aceitação, valores que estão de acordo com os propostos pelo ICRU Report 83¹. O software OmniPro IMRT, apresentado na Figura 3, permite importar e intercomparar as distribuições de doses calculadas no sistema de planejamento com as distribuições de dose medidas em filmes ou no detector dosimétrico 2D Matrixx através do método gama.

Resultados

Foram avaliados 113 controles da qualidade usando a câmara CC01 (volume de $0,01 \text{ cm}^3$), em que 92% dos casos apresentaram desvio percentual de dose absoluta total menor que $\pm 5\%$ em relação ao valor calculado. Também foram analisados 81 controles da qualidade usando o detector matricial 2D Matrixx, em que 79% dos casos apresentaram desvio percentual de dose absoluta total menor que $\pm 5\%$ em relação ao valor calculado. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos na comparação

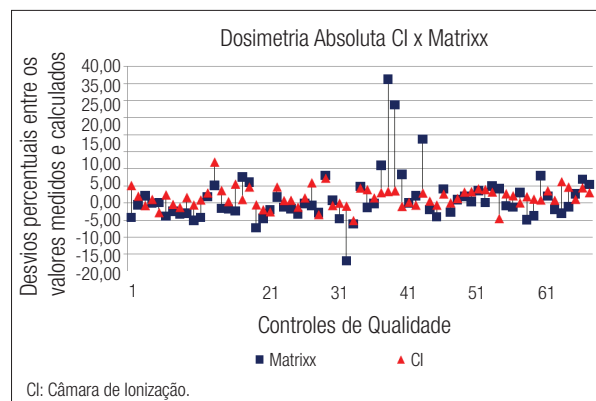


Figura 4. Comparação dos desvios percentuais entre os valores medidos e os valores calculados para medidas absolutas com câmara de ionização CC01 e com detector 2D Matrixx.

de 67 controles da qualidade medidos com câmara de ionização CC01 e com detector 2D Matrixx.

Quatro pontos apresentaram desvios percentuais maiores que 10%. Estes grandes desvios ocorreram devido a falhas no posicionamento do Matrixx durante as configurações dosimétricas ou devido a problemas de

interpolação entre as câmaras do detector. Estas medidas também foram analisadas com câmara de ionização e apresentaram desvio percentual aceitável.

Para avaliar a dosimetria relativa, 81 controles de qualidade foram realizados com o detector 2D Matrixx. No cálculo do valor gama, 87,7% destes controles apresentaram 95% dos pontos entre 0,00 a 1,00 ($P > 1$ com 0 a 5%). No cálculo do valor gama utilizando filme radiocrômico, que foi feito para 43 controles da qualidade (28 com filme EBT e 15 com filme EBT2), 81,4% dos controles apresentaram 95% dos pontos entre 0,00 a 1,00 ($P > 1$ com 0 a 5%). Dados apresentados respectivamente pela Figura 5.

Na dosimetria relativa com filme, quatro pontos apresentaram valores inferiores a 90%. Estas diferenças ocorreram devido a falhas no posicionamento do filme durante as configurações dosimétricas, indicando discordância entre as distribuições de doses que foram avaliadas em duas dimensões pelo método do valor gama. Todas as medidas que apresentaram baixa percentagem foram refeitas e apresentaram valores aceitáveis.

Para avaliar a influência do volume alvo de planejamento (PTV), 113 controles de qualidade foram separados em cinco grupos e comparados em diferença de dose absoluta e valor gama (porcentagem de $P < 1$). O primeiro grupo incluiu PTVs com volumes menores que 20 cm³, o segundo grupo incluiu PTVs de 20 a 50 cm³, o terceiro grupo incluiu PTVs de 50 a 100 cm³, o quarto grupo incluiu PTVs de 100 a 150 cm³ e o quinto grupo incluiu PTVs maiores que 150 cm³. Os resultados são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Para analisar a importância do número de campos de tratamento, 128 controles da qualidade incluindo 747 campos foram separados em três grupos e comparados em diferença de dose absoluta e valor gama (porcentagem de $P < 1$). O primeiro grupo incluiu controles de qualidade com até 5 campos, o segundo com 6 campos e o terceiro com entre 7 e 10 campos. Os resultados são mostrados nas Tabelas 3 e 4.

Para estimar a influência do número de segmentos, 128 controles da qualidade, incluindo um total de 30.326 segmentos, foram separados em quatro grupos e

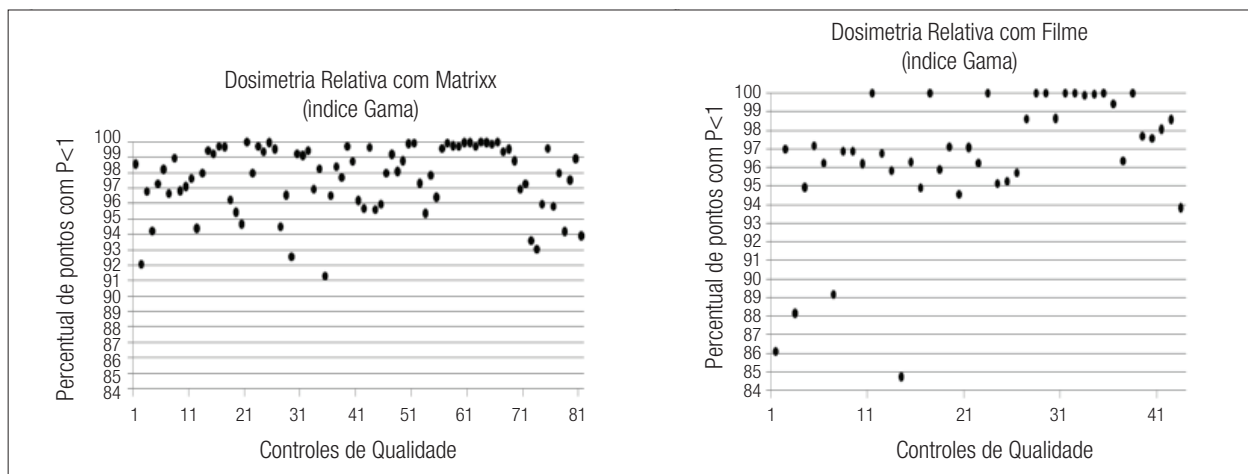


Figura 5. Percentual de pontos com $P < 1$ para medidas relativas com detector 2D Matrixx e filme radiocrômico.

Tabela 1. Comparação da dosimetria absoluta (diferença de dose) em diferentes volumes de alvos de planejamento.

Grupo	n	Média do volume (cm ³)	Média da diferença de dose (%)	σ (%)	Máximo diferença de dose (%)	Mínimo diferença de dose (%)
PTV < 20 cm ³	29	7,61	1,62	1,13	4,03	0,12
20 cm ³ ≤ PTV < 50 cm ³	25	34,97	2,28	1,73	7,37	0,08
50 cm ³ ≤ PTV < 100 cm ³	29	73,76	2,44	1,81	6,31	0,00
100 cm ³ ≤ PTV < 150 cm ³	16	118,72	3,23	2,37	9,62	0,48
PVT > 150 cm ³	14	215,47	3,49	2,91	12,08	0,67

Tabela 2. Comparação da dosimetria relativa (valor gama) em diferentes volumes de alvos de planejamento.

Grupo	n	Média do volume (cm ³)	Média $\Gamma < 1$ (%)	σ (%)	Máximo $\Gamma < 1$ (%)	Mínimo $\Gamma < 1$ (%)
PTV < 20 cm ³	29	7,61	99,06	1,50	100,00	94,22
20 cm ³ ≤ PTV < 50 cm ³	25	34,97	96,63	2,15	100,00	89,17
50 cm ³ ≤ PTV < 100 cm ³	29	73,76	97,18	2,35	100,0	88,14
100 cm ³ ≤ PTV < 150 cm ³	16	118,72	96,75	1,87	100	92,57
PVT > 150 cm ³	14	215,47	95,45	4,65	99,54	84,73

comparados em diferença de dose absoluta e valor gama (porcentagem de $P < 1$). O primeiro grupo incluiu controles da qualidade com até 30 segmentos por campo, o segundo com entre 30 e 40 segmentos por campo, o terceiro com entre 40 e 60 segmentos por campo e o quarto com 60 ou mais segmentos por campo. Os resultados são mostrados nas Tabelas 5 e 6.

Analisando os dados obtidos, o controle da qualidade de campos com menores volumes ($PTV < 20 \text{ cm}^3$) apresentaram os melhores resultados de média e desvio padrão, tanto na dosimetria absoluta quanto na relativa, devido à menor complexidade dos planejamentos com menores volumes que englobam regiões com menos heterogeneidades e não invadem excessivamente os órgãos de risco.

O número de campos não influencia significativamente o resultado final do controle da qualidade e os planejamentos com entre 40 e 60 segmentos por campo apresentam os melhores resultados de dosimetria absoluta e relativa, devido, possivelmente, a características mecânicas específicas do sistema MLC utilizado.

Discussão e Conclusões

A dosimetria absoluta realizada com câmara de ionização CC01 apresentou melhores resultados que a com Matrixx,

resultados mostrados na Figura 4. A verificação da dose absoluta medida com Matrixx gera um desvio maior em volumes pequenos irradiados, pois utiliza uma relação entre as quatro câmaras centrais, não tendo uma câmara no raio central. A dosimetria relativa feita com Matrixx apresentou melhores resultados que a realizada com filme e, também, a dosimetria com Matrixx tem a vantagem de não necessitar a digitalização do filme e a execução da curva de calibração, fatores que contribuem para o aumento dos desvios nas medidas feitas com filme. Além disso, no filme existe um "gap" de ar existente entre o filme e as placas de água sólida (mesmo sendo menor que um milímetro em uma configuração de medida bem posicionada, este "gap" contribui para o aumento dos desvios).

Em relação à influência do PTV no resultado dos controles de qualidade, medidas feitas para campos com volumes menores ($PTV < 20 \text{ cm}^3$) apresentam os melhores resultados de dosimetria absoluta e relativa, devido à menor complexidade dos planejamentos com pequenos PTVs. Esses dados demonstram que os planejamentos e as execuções dos tratamentos para campos relativamente pequenos no Hospital das Clínicas de São Paulo têm elevada exatidão e precisão. O número de campos não apresentou influência significativa no controle da qualidade. Os dados que consideram os números de segmentos por campos, de uma forma geral para volumes de PTVs

Tabela 3. Comparação da dosimetria absoluta (diferença de dose) em diferentes números de campos.

Grupo (campos)	n	Média nº de campos	Média da diferença de dose (%)	σ (%)	Máximo diferença de dose (%)	Mínimo diferença de dose (%)
1 a 5	63	4,95	2,16	1,84	9,62	0,08
6	32	6	2,38	1,57	5,18	0,00
7 a 10	33	7,36	2,96	1,67	7,37	0,10

Tabela 4. Comparação da dosimetria relativa (valor gama) em diferentes números de campos.

Grupo	n	Média nº de campos	Média $\Gamma < 1$ (%)	σ (%)	Máximo $\Gamma < 1$ (%)	Mínimo $\Gamma < 1$ (%)
1 a 5 campos	63	4,95	97,35	3,02	100,00	84,73
6 campos	32	6	98,20	1,73	100,00	94,68
7 a 10 campos	33	7,36	96,17	2,97	100,00	86,09

Tabela 5. Comparação da dosimetria absoluta (diferença de dose) para diferentes números de segmentos.

Grupo (segmentos por campo)	n	Média do nº de segmentos por campo	Média da diferença de dose (%)	σ (%)	Máximo diferença de dose (%)	Mínimo diferença de dose (%)
1 a 30	22	23,58	2,75	2,31	9,62	0,00
30 a 40	49	32,54	2,43	1,77	7,37	0,08
40 a 60	40	48,43	1,99	1,30	5,15	0,12
60 ou mais	17	63,34	3,00	1,65	5,64	0,17

Tabela 6. Comparação da dosimetria relativa (valor gama) para diferentes números de segmentos.

Grupo (segmentos por campo)	n	Média do nº de segmentos por campo	Média $\Gamma < 1$ (%)	σ (%)	Máximo $\Gamma < 1$ (%)	Mínimo $\Gamma < 1$ (%)
1 a 30	22	23,58	97,18	2,00	99,96	92,57
30 a 40	49	32,54	97,17	3,00	100,00	84,73
40 a 60	40	48,43	97,99	2,58	100,00	88,14
60 ou mais	17	63,34	96,18	3,29	100,00	86,09

variados, indicam melhores resultados com planejamentos com 40 a 60 segmentos por campo.

Ao levar em conta os níveis de ação dos testes para verificação de IMRT apresentados pelo ESTRO Booklet Nº 9³, a precisão dos procedimentos de medida, a carga de trabalho, a capacidade de detectar áreas problemáticas na distribuição de dose e os dados dos controles da qualidade analisados, foram estabelecidos os níveis de ação requeridos para o programa de controle da qualidade proposto e implementado no Serviço de Radioterapia do Hospital das Clínicas de São Paulo que é de $\pm 5\%$ na dose absoluta total (dosimetria absoluta) e histograma gama com 95% dos pontos com $P \leq 1$ para desvios de 3 mm e 3% (dosimetria relativa). Esses valores estão de acordo com os propostos pelo ICRU Report 83¹. A análise feita neste trabalho só é válida para um sistema micro MLC como colimador terciário.

Referências

1. International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam IMRT. ICRU Report 83. 2010.
2. Mell LK, Mehrotra AK, Mundt AJ. Intensity-modulated radiation therapy use in the U.S. in 2004. *Cancer*. 2005;104:1296-303.
3. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology. European Guidelines for Quality Assurance in Radiotherapy, Guidelines for the Verification of IMRT. ESTRO Booklet Nº 9. Edited by Ben Mijnheer and Dietmar Georg, Brussels. 2008.
4. Low DA, Mutic S, Dempsey JF, Gerber RL, Bosch WR, Perez CA, Purdy JA. Quantitative dosimetric verification of an IMRT planning and delivery system. *Radiother Oncol*. 1998;49:305-16.
5. Wiezorek T, Banz N, Schwedas M, Scheithauer M, Salz H, Georg D, Wendt TG. Dosimetric quality assurance for intensity-modulated radiotherapy feasibility study for a filmless approach. *Strahlenther Onkol*. 2005;181:468-74.
6. Winkler P, Zurl B, Guss H, Kindl P, Stuecklschweiger G. Performance analysis of a film dosimetric quality assurance procedure for IMRT with regard to the employment of quantitative evaluation methods. *Phys Med Biol*. 2005;50:643-54.
7. Donovan EM, Bleackley NJ, Evans PM, Reise SF, Yarnold JR. Dose-position and dose-volume histogram analysis of standard wedged and intensity modulated treatments in breast radiotherapy. *Br J Radiol*. 2002;75:967-73.
8. Donovan E, Bleakley N, Denholm E, Evans P, Gothard L, Hanson J, et al. Randomised trial of standard 2D radiotherapy (RT) versus intensity modulated radiotherapy (IMRT) in patients prescribed breast radiotherapy. *Radiother Oncol*. 2007;82:254-64.