

Estudo Comparativo entre Métodos de Controle de Qualidade de Radioterapia de Intensidade Modulada

Comparative Study of Quality Control Methods of Modulated Intensity Radiotherapy

Noé R. Timm¹, Magali C. Borges³, Mirko S. Alvsá-Sánchez²,

¹Programa de Residência em Física Médica de Radioterapia/UFCSPA/ISCMPA/SMSPA, Porto Alegre, Brasil

²Departamento de Física Médica, UFCSPA, Porto Alegre, Brasil

³Serviço de Radioterapia, Hospital Santa Rita HSR/ISCMPA, Porto Alegre, Brasil

Resumo

A técnica de Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) utilizada nos tratamentos de diversos sítios, exige um controle de qualidade (CQ) individual e específico devido à complexidade na entrega da distribuição de dose. Para realização de CQ em IMRT são utilizados detectores que visam medidas absolutas ou relativas de valores dose absorvida. O objetivo do presente trabalho foi promover um estudo comparativo dos valores das distribuições de dose de diferentes detectores, com os valores do sistema de planejamento (TPS) e verificar a influência das características dosimétricas na análise dos resultados de aprovação de um planejamento radioterápico. Neste trabalho utilizou-se uma câmara de ionização (CI) CC04, uma matriz de câmaras de ionização 2D – Matrixx Evolution (ambos da IBA – Dosimetry) e um Dispositivo Eletrônico de Imagem Portal (EPID). Utilizando um acelerador linear Unique (Varian Medical Systems) foram realizados 81 CQ de planejamentos de próstata, com a CC04 e o Matrixx, envolvidos sob placas de água sólida. Por meio do detector EPID foram realizados 87 CQ na posição do gantry, mesa e colimador a zero grau, porém, com a mesma fluência do plano original. As análises dos valores de dose pontual absoluta obtidas com a CI e o Matrixx, mostraram um desvio médio percentual de -1,4% e 1,75%, respectivamente, quando comparados com os valores do TPS. As distribuições planares de dose foram comparadas por meio da função do índice gama, com critérios de 3% de diferença de dose e 3mm de distância para concordância. Com o Matrixx utilizou-se diferentes resoluções para as comparações, obtendo-se assim, médias de aprovação de pontos entre 98,37 e 99,18%. Quanto ao EPID essa média foi de 99,8% dos pontos. Apesar dos resultados obtidos com os detectores em estudos se mostrarem próximos nas avaliações de dosimetria absoluta e relativa, estas são complementares entre si, não devendo ser dissociadas. Esses valores mostraram conformidade com os valores encontrados na literatura, garantindo assim a confiabilidade na realização de CQ em IMRT dos planejamentos radioterápicos nos detectores disponíveis no serviço.

Palavras-chave: controle de qualidade. detectores. dosimetria. IMRT.

Abstract

The Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) technique used in the treatments of several sites, which requires individual and specific quality control (QC) due to the complexity in the delivery of the dose distribution. To perform QC in IMRT, detectors are used that aim at absolute or relative measures of absorbed dose values. The objective of the present study was to promote a comparative study of the dose distribution values of different detectors with the values of the planning system (TPS) and to verify the influence of the dosimetric characteristics in the analysis of the approval results of a radiotherapeutic planning. In this work we used an ionization chamber (CI) CC04, an array of 2D ionization chambers - Matrixx Evolution (both of IBA - Dosimetry) and an Electronic Image Device Portal (EPID). A Unique Linear Accelerator (Varian Medical Systems) where 81 QCs of prostate planning with CC04 and Matrixx were performed under solid water plates. By means of the EPID detector, 87 CQ were performed in the position of the gantry, table and collimator at zero degree, but with the same fluency of the original plane. Analyzes of the absolute point dose values obtained with IC and Matrixx showed a mean percentage deviation of -1.4% and 1.75%, respectively, when compared to TPS values. Planar dose distributions were compared using the gamma index function, with criteria of 3% dose difference and 3mm distance for agreement. With Matrixx different resolutions were used for the comparisons, obtaining, therefore, averages of approval of points between 98.37 and 99.18%. As for the EPID, this average was 99.8% of the points. Although the results obtained with the detectors in studies are close in absolute and relative dosimetry, they are complementary to each other and should not be dissociated. This is the use of the evaluation of predicted updates in predictors available in service.

Keywords: quality control. detectors. dosimetry. IMRT.

1. Introdução

A modalidade de radioterapia externa, a partir de sua evolução tecnológica nos últimos anos, prosperou para tornar a técnica de tratamento com feixe de intensidade modulada (IMRT, do inglês *Intensity Modulated Radiation Therapy*)¹, cada vez mais aplicada nos diferentes tipos de tratamentos nos serviços de radioterapia. A IMRT utiliza uma combinação da movimentação do colimador multilâminas (MLC) e algoritmos de otimização da fluência dos fótons, proporcionando assim a modulação do feixe. A técnica citada é um aprimoramento da Radioterapia Tridimensional Conformacional (3DCRT)¹², que utiliza lâminas estáticas para a conformação da dose de radiação no volume alvo. O modo de tratamento com IMRT pode proporcionar uma redução substancial da dose em tecidos normais adjacentes ao volume alvo, permitindo conformar (otimizar) a distribuição de dose no volume alvo (tumor).

As duas maneiras de modular a fluência com os colimadores multilâminas são: a denominada de “*step-and-shoot*” ou “*stop-and-shoot*” onde não é emitido o feixe, enquanto as lâminas se movem para alterar os sub-campos, e a “*sliding-window*” quando a movimentação das lâminas ocorre concomitantemente à emissão do feixe de radiação.

Nesse sentido, a complexidade envolvida na entrega da dose planejada torna necessário o controle de qualidade (CQ) do planejamento antes do início do tratamento de cada paciente. Esse controle pode ser realizado em duas etapas: a verificação da dose absoluta pontual em um objeto simulador, avaliando a dose campo por campo ou o somatório destes e/ou a verificação das fluências planares individuais de cada campo modulado ou a soma deles.

Atualmente, tem-se disponível diversos protocolos, entre eles o do Grupo de Trabalho³ da Associação Americana de Físicos em Medicina (TG-120/AAPM, do inglês, *Task Group of American Association of Physicists in Medicine*) que descreve o uso e as limitações de dosímetros e acessórios para o controle de qualidade de IMRT e, mais recentemente, o TG-218/AAPM¹⁹ que fornece uma revisão abrangente para melhorar a compreensão dos processos de medida e análise, bem como recomendações. Assim, os dosímetros mais recomendados e utilizados são: os dosímetros pontuais (câmara de ionização - CI ou diodos) e os bidimensionais (matrizes ou arranjos de câmaras de ionização, filmes dosimétricos, e os Dispositivos Eletrônicos de Imagem Portal (EPID))².

Pesquisadores e especialistas^{4,5} têm-se debruçado sobre análises desses dosímetros, como as câmaras de ionização cilíndricas, de volume pequeno, por exemplo, a (“Pin Point”), utilizado para as medidas de doses pontuais absolutas para campos pequenos (<10cm²) de IMRT. Outro método é o sistema dosimétrico de filme radiocrômico, que é o mais utilizado, porém, não permite uma análise imediata dos resultados, necessitando de

digitalização, podendo assim, introduzir incertezas no processo, no entanto, possui ótimos resultados em virtude de sua resolução espacial comparado aos outros dosímetros.

Também tem sido utilizado os arranjos bidimensionais^{4,6} de câmaras de ionização (matrizes), onde apresentaram valores aceitáveis de reprodutibilidade, linearidade da resposta versus dose absorvida, pouca influência de fatores externos e a distribuição de dose dada em tempo real, destacando-se como vantagem dessa ferramenta, a obtenção dos arquivos de medida em formato digital, facilitando a sua análise, bem como a praticidade de manipulação e posicionamento. Mais recentemente, o EPID (Dispositivo Eletrônico de Imagem Portal), por estar acoplado ao acelerador linear (AL), e já ser utilizado para verificação de posicionamento de pacientes em tratamento e aplicação em Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), vem sendo utilizado nos controles de qualidade dosimétricos de IMRT, o qual tem demonstrado ótima resolução espacial e resultados aceitáveis².

Neste sentido, métodos bem estabelecidos de controle de qualidade de IMRT^{12,14} tornam-se imprescindíveis para garantir a entrega adequada da dose prescrita ao paciente, e conseqüentemente, maior probabilidade de controle tumoral⁷. Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo comparativo das diferenças das medidas de dose absoluta pontual obtida através da câmara de ionização CC04 e o calculado pelo Sistema de Planejamento e Tratamento (TPS do inglês, *Treatment Planning System*) em planos de verificação de planejamentos de próstata e, uma análise através da função do índice gama dos mapas de distribuição planar das fluências medidas pelo Matrixx e EPID, bem como algumas características que podem ser relevantes na comparação dessas fluências geradas pelo TPS.

2. Materiais e Métodos

Foram selecionados 87 casos de planejamentos de próstata de pacientes utilizando a técnica de IMRT, com a média de 07 campos por tratamento e dose total do planejamento original variando de 66 a 74 Gy, na modalidade *Sliding-window* (utilizada no serviço de radioterapia do Hospital Santa Rita do Complexo Hospitalar Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre - ISCMPA). O software de planejamento da Varian, Eclipse, versão 13.6 e com o algoritmo *Anisotropic Analytical Algorithm* (AAA). Esses tratamentos utilizaram a energia de fótons de 6MV no acelerador linear Unique (Varian Medical Systems). A escolha do acelerador deu-se em função de possuir o EPID, ou seja, o portal dosimétrico e a capacidade de executar a técnica IMRT. Este modelo de AL, possui 80 pares de MLC e energia de 6MV, utilizando tratamentos em distância fonte-eixo (SAD, do inglês *Source Axxis Distance*) de 100cm.

Os controles de qualidade das distribuições de dose foram realizados com três detectores, e seus arranjos experimentais descritos a seguir:

A câmara de ionização (CI) da marca IBA Dosimetry, chamada de "Pin-Point", de volume ativo de $0,04\text{cm}^3$ juntamente com um eletrômetro da marca CDX-2000B e cabo coaxial. A CI foi introduzida no objeto simulador de água sólida, com dimensões de $30 \times 30\text{cm}$ e altura de 12cm . O posicionamento da CC04 deu-se no centro do campo, porém seguindo orientações do Report Task Group nº 120 da AAPM. Assim, antes do CQ realizou-se a aquisição de imagens por Tomografia Computadorizada (TC), dos objetos simuladores (placas de água sólida com os dosímetros CI e da Matriz de CI 2D, individualmente) para o cálculo do plano de verificação.

O Matrixx Evolution é uma matriz de CI 2D (fabricante IBA Dosimetry) que possui 1020 câmaras de ionização, com volume de $0,08 \text{ cm}^3$ cada, com tempo de leitura de 20ms . A área sensível do Matrixx é de $24,4 \times 24,4 \text{ cm}^2$, com ponto efetivo de medida de 3 mm , espaçamento em pixels (centro a centro) de $7,62\text{mm}$, com taxa mínima de leitura de $2\text{cGy}/\text{min}$. O arranjo experimental para a medida envolve $7,5 \text{ cm}$ de placas de água sólida acima e 5 cm abaixo do Matrixx, e $30 \times 30 \text{ cm}^2$ de área. Este simulador de água sólida tem como objetivo levar em conta o efeito do retro-espalhamento dos fótons na medida.

O EPID^{8,9}, modelo aS1000 com uma área sensível máxima de $40 \times 32\text{cm}^2$, com uma resolução da matriz de pixels (1024×768) e resolução de pixel de $0,39\text{mm}$. O posicionamento adotado no momento do controle de qualidade deu-se em uma posição pré-determinada com distância da fonte (gantry) a superfície dos detectores de 105 cm , calibrado previamente para dose absoluta na unidade Calibration Units (CU) em razão correspondente a 1CU para cada 100UM (unidades monitoras), utilizando campo $10 \times 10\text{cm}^2$, sem interposição de objetos simuladores entre a fonte e os detectores do EPID.

No TPS, as distribuições de doses analisadas, foram gerados com as imagens tomográficas dos objetos simuladores, criando assim, os planos de verificação que possuem as mesmas fluências e tamanho de campo do planejamento original, com o gantry, colimador e mesa na angulação de zero grau.

O processo de coleta das medidas deu-se em três momentos, a saber:

No primeiro momento, foram realizados 85 CQ compostos por 07 campos de tratamento em média. Utilizou-se a CI CC04 colocada no centro do campo e no isocentro do aparelho, conforme ilustrado na Figura 1. Na TC do objeto simulador com a CC04, entre as placas de água sólida, foi desenhado a estrutura o volume sensível da câmara. Antes da realização das medidas foi realizado o teste de fuga na CC04, que apresentou os resultados adequados a tolerância recomendada pelo Protocolo Tec-Doc¹¹ 1151. As medidas obtidas de dose pontual absoluta,

foram coletadas pela soma de todos os campos do plano, com eletrômetro em modo carga (nC) e, posteriormente, aplicados os fatores de correção e de calibração (de dose absorvida em água)¹⁵ da CI, para assim calcularmos a dose absorvida no seu volume.



Figura 1. Ilustração do setup de medida da CI CC04 para o CQ de IMRT.

No segundo momento, foram realizados 81 CQ compostos por 07 campos por tratamento em média. As medidas deram-se com o detector planar 2D Matrixx, conforme o aparato experimental descrito anteriormente e ilustrado na Figura 2, onde primeiramente, foi verificado a dose medida no centro dos campos, ou seja, a dose "pontual" absoluta total, interpolada pelas quatro câmaras ao redor do centro da matriz, devido não possuir uma CI central.

Em sequência, através das mesmas medidas, analisou-se a dosimetria relativa, levando-se em conta a distribuição planar de valores de dose. A avaliação da concordância das distribuições de dose planejadas e medidas foram comparadas com base no Índice Gama (γ), através do software¹¹ Omnipro-l'mRT, versão 1.7b. Esse software realiza normalização relativa e global, ou seja, cada distribuição é normalizada com valores de referência independentes e são tomados valores espacialmente correspondentes das duas distribuições¹⁶.



Figura 2. Ilustração do *setup* de medida do EPID para o CQ de IMRT

O critério utilizado para aprovação do índice gama (γ) foi o de 3% de diferença de dose e 3 mm de distância para concordância (DTA) e limiar (threshold) de 20%. Assim, um ponto de referência é considerado aprovado caso haja um ponto avaliado cuja diferença de dose e DTA sejam suficientemente pequenos tal que satisfaça $\gamma \leq 1$ com critério 3% / 3mm, conforme ilustrado na Figura 3.

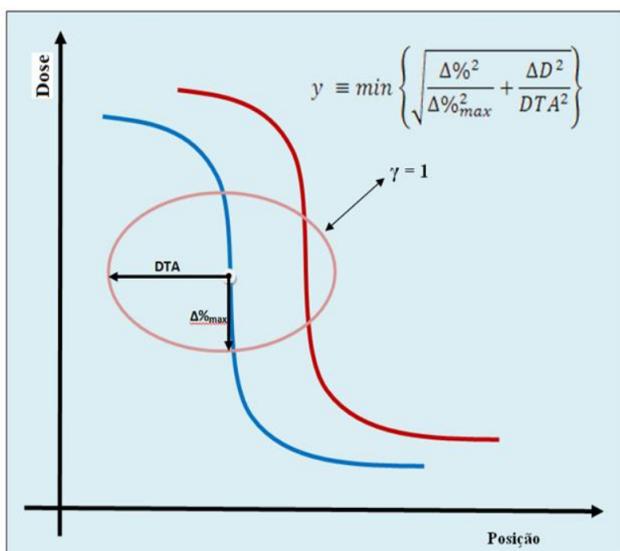


Figura 3. Ilustra a equação da função gama. A curva azul representa a distribuição de dose referência (medida) e a vermelha, a distribuição de dose a ser avaliada (TPS).

No terceiro momento, foram realizados 87 CQ com o EPID, conforme *setup* já descrito e ilustrado pela Figura 4. Anteriormente, aos controles de qualidade foram realizadas a calibração do EPID com relação ao posicionamento e a razão de CU/UM. Para as análises de comparação da distribuição de dose utilizou-se a função do índice gama através do software Eclipse da Varian, com licença do Portal Dosimetry, adotando os mesmos critérios de aprovação selecionados nos CQ do Matrixx. Esses detectores planares já nos fornecem a curva de medida em tempo real (mapa de fluência) em arquivos digitais, facilitando as análises.



Figura 4. Ilustração do arranjo experimental para o CQ com o Matrixx

3. Resultados

3.1 Dosimetria Absoluta com a Câmara de Ionização CC04

Os valores de dose absoluta pontual obtida através da CI foram comparados à dose média, apresentada no histograma dose-volume (DVH) calculada pelo TPS, identificados pela estrutura desenhada do volume sensível da CI.

Logo, quando realizado a comparação das doses calculadas (TPS) e das doses medidas pela CI CC04, levando em consideração as regiões de baixo gradiente de dose (variação de dose em seu volume sensível menor que 5%), obteve-se em mais de 95% dos CQ um desvio percentual de dose absoluta menor que 5% e um desvio médio de -1,4%, em relação aos valores fornecidos pelo TPS. Esses resultados concordaram com os desvios padrão de 2,5 a 3% para CI CC01 encontrados nas pesquisas de Sanchez-Doblado et al. (2007)⁵, Lavor (2011)⁴,

demonstrando que a utilização da CI CC04 disponível no serviço é adequada para o CQ de IMRT. A Tabela 1 e o Gráfico 1 apresentam os resultados obtidos.

Tabela 1. Resultados obtidos pela dosimetria absoluta com a CI CC04 comparados com os valores do TPS

Total de CQ	85
Desvio percentual máximo	1,5%
Desvio percentual médio	-1,4%
Desvio percentual mínimo	-7,3%
Desvio padrão	1,8

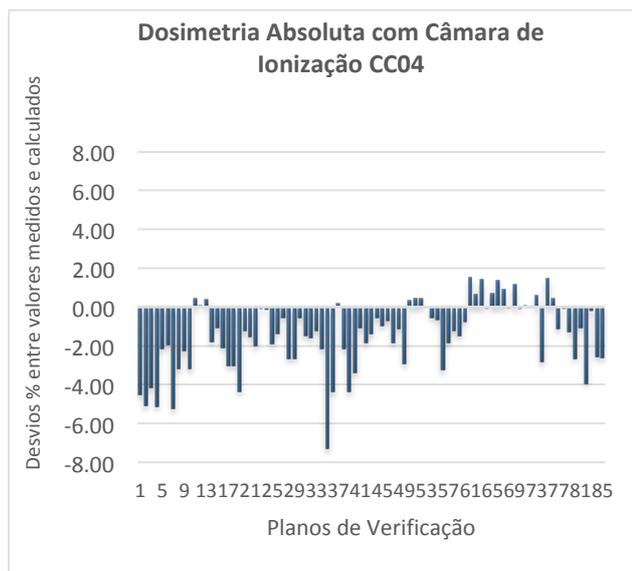


Gráfico 1. Desvios percentuais entre os valores de dose absoluta medido e o calculado pelo TPS para a CI CC04.

3.2 Dosimetria Absoluta com a Matriz de Câmaras de Ionização 2D – Matrixx

Foram realizados 81 CQ com o Matrixx, onde foram comparadas as doses pontuais absolutas medidas e calculadas pelo TPS, no centro do campo. Nesta disposição, obteve-se mais de 92% dos CQ com o desvio percentual de dose absoluta total menor que $\pm 5\%$ em relação aos valores do TPS, e mais de 75% apresentaram desvios menores que $\pm 3\%$, conforme demonstra a Tabela 2 e o Gráfico 2. Se compararmos aos desvios percentuais da CI CC04, eles se apresentam maiores principalmente devido a interpolação necessária (04 CIs ao redor do centro) e pelo tamanho do volume sensível ser maior.

Tabela 2. Resultados obtidos pela dosimetria absoluta com o Matrixx comparados com os valores do TPS.

Total de CQ	81
Desvio percentual máximo	8,23%
Desvio percentual médio	1,75%
Desvio percentual mínimo	-8,66%
Desvio padrão	2,54

Esses resultados encontrados concordam com a pesquisa de Lavor (2011)⁴ que encontrou um desvio médio de 4,1% com o mesmo modelo de detector 2D.

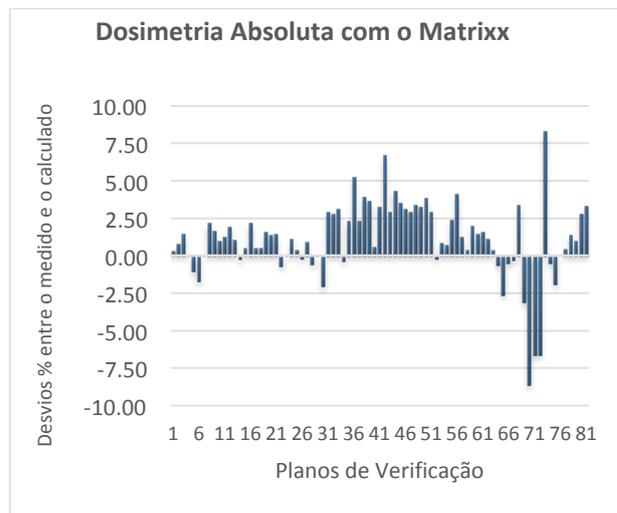


Gráfico 2. Desvios percentuais das diferenças entre os valores de dose absoluta medido e o calculado pelo TPS para o Matrixx.

3.3 Dosimetria da distribuição de valores de dose com a Matriz de Câmara de Ionização 2D (Matrixx)

Com os mesmos CQ e *setup*, mencionados na sessão anterior, foram obtidas distribuições de dose, as quais, foram comparadas com a distribuição de dose calculada pelos TPS.

Na análise da comparação das distribuições de dose relativa foram utilizadas quatro resoluções diferentes de medida, conforme ilustra a Figura 5.

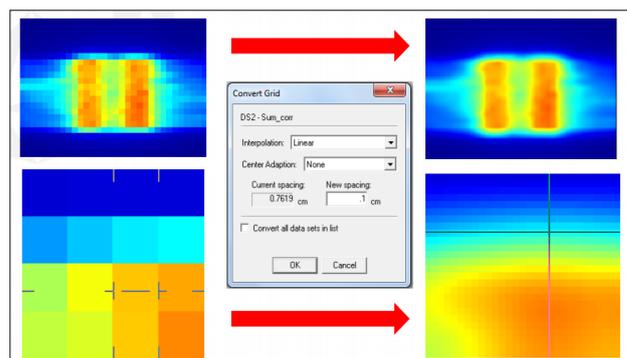


Figura 05: ilustra a conversão da resolução da matriz medida (referência) antes da comparação com a matriz de avaliação.

Este método buscou verificar a variação da média de pontos aprovados quando a resolução é alterada. Sabe-se que esta variação na resolução, influencia na quantidade de pontos levados em consideração na análise da função gama, e sabendo que o mapa de distribuição de valores gerado pelo TPS possui uma resolução de 1 mm.

Nesse sentido, como pode ser observado na tabela 03, obtiveram-se maiores médias de aprovações quando se utilizava menores resoluções na matriz de referência (medida), como pode ser observado nos dados da Tabela 3 e Gráfico 3.

Essas diferenças não foram significativas perante os CQ analisados, pois não houve grandes variações de gradientes de dose nesse tipo de sítio.

Tabela 3. Resultados de aprovação obtidos na dosimetria relativa com o Matrixx variando sua resolução para a comparação

Total de 81 CQ	7,62mm	5mm	2,5mm	1mm
Percentual máximo	100,00	99,87	99,83	100,00
Percentual médio	99,18%	98,63%	98,47%	98,37%
Percentual mínimo	93,25	92,45	92,24	92,24
Desvio padrão	1,27	1,31	1,27	1,34

Esse comportamento pode ser explicado, pois a matriz de menor resolução (7,62 mm) quando executa a análise da função gama, procura espacialmente por algum ponto de concordância de diferença de dose (critério 3% / 3 mm) em um raio de 3 mm na matriz de avaliação (1 mm), que disporá de em média 28 pontos para a concordância, facilitando a equivalência de valores em um espaço pequeno. Um aspecto importante de ser lembrado é que o resultado dessa análise gama fornece uma matriz resultante com a mesma quantidade de pontos da matriz de referência (medida), e no momento que se aumenta a resolução da matriz referência, aumenta-se o número de pixels e diminui-se as chances de aprovação da maioria dos pontos.

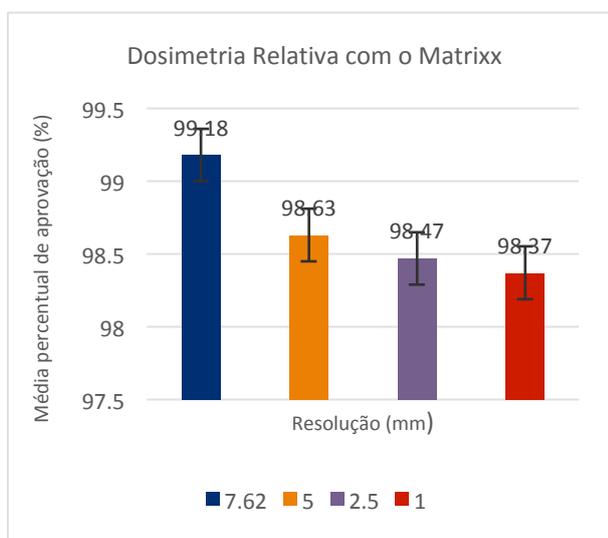


Gráfico 3. Ilustra as médias de aprovação da dosimetria com o Matrixx e as margens de erro através das barras.

Apesar da maioria dessas distribuições de valores de dose (próstata) não exigir grandes variações de gradientes, um aspecto importante pode ser observado nos resultados das análises comparativas do índice gama entre o valor medido e o calculado do Matrixx¹¹, foi que essas diferentes resoluções aumentam ou sonegam informações da medida, facilitando ou dificultando a aprovação de pontos em regiões de alto gradiente, apesar de se esperar mais significância em distribuições mais complexas.

3.4 Dosimetria da distribuição de valores de dose com o EPID

Com o EPID foram realizados 87 CQ com o gantry, colimador e mesa a zero grau, porém com a mesma fluência do planejamento original. Esse tipo de detector apresentou alto índice de aprovação, aproximando-se dos 100%, quando utilizado o mesmo critério de 3% de diferença de dose e 3 mm de DTA. Também foi analisado o gama médio e máximo com as respectivas médias, 0,29 e 1,02. Observe os resultados na Tabela 4 e Gráfico 4.

Tabela 4. Resultados obtidos dos CQ com o EPID

Total de CQ	87
Desvio percentual máximo	100%
Desvio percentual médio	99,8%
Desvio percentual mínimo	94%
Desvio padrão	0,73

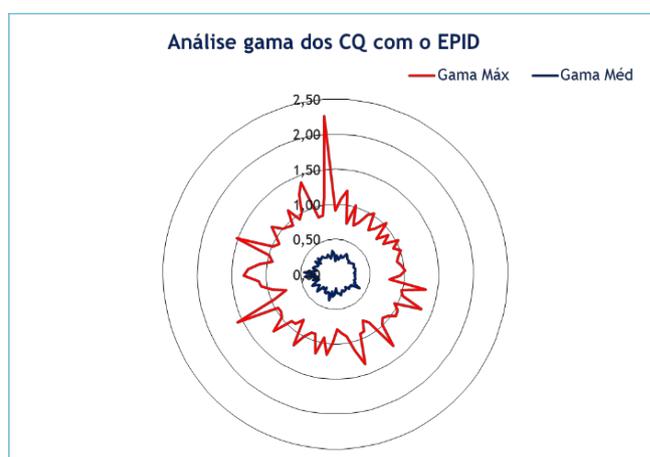


Gráfico 4. Ilustra a distribuição dos gamas médios e máximos dos CQ com o EPID.

No entanto, os índices de gama médio e máximo não apresentaram um comportamento bem definido, com relação a aprovação dos pontos, apontando a necessidade de se realizar uma avaliação de parâmetros qualitativos como uma análise visual da área do gráfico gama maior que 1, poderiam ser levados em consideração.

4. Discussão

Em geral, os desvios médios percentuais da CC04 e do Matrix foram pequenos, no entanto, de sinais contrários, diferença que pode ser atribuída a erros de *setup* durante as medições ou calibração dos dosímetros, visto que foi da grande maioria das medidas coletadas. Ao utilizarmos o Matrixx, podemos obter a dosimetria absoluta e relativa, porém quando realizamos as comparações de distribuição de dose, sugere-se manter a matriz avaliada (TPS) com a melhor resolução, ao ponto que podemos definir uma resolução intermediária para a matriz referência (medida). As análises dos CQ com o EPID quando comparadas ao Matrixx demonstraram diferenças médias percentuais menores que 1%, indicando o EPID como uma

ferramenta útil e confiável para a dosimetria relativa (predição de valores de dose) de IMRT.

A adoção dos métodos de CQ para IMRT, como a dosimetria absoluta realizada com o Matrixx e a CC04 pode ser utilizada para complementar ao uso da dosimetria relativa do EPID, visto que são recomendados pelas normas técnicas das instituições fiscalizadoras brasileiras^{17,18}, bem como também são sistemas independentes do acelerador linear.

A escolha dos limites de confiança pelos físicos médicos vai depender do tipo de equipamento de CQ disponível e da região de tratamentos, assim como da técnica que podem exigir distribuições de dose mais complexas. O conhecimento do funcionamento dos detectores e seus softwares de análise facilitará na escolha dos critérios a adotar na entrega adequada da dose prescrita e, conseqüentemente, na probabilidade de controle tumoral do paciente.

Por fim, ressalta-se a eficácia dos detectores analisados nos CQ de IMRT de próstata e a importância de não dissociar a dosimetria absoluta (dose) da dosimetria relativa (distribuição dos valores de dose). As análises e comparações entre os diferentes detectores obtidas no presente trabalhos podem auxiliar na compressão dos fatores que influenciam nas incertezas (espaciais e dosimétricas) para adquirir confiança e a precisão exigida na entrega adequada da dose da IMRT, conforme descrito nas orientações do TG-218.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a equipe de Físicos Jackson Argenta, Maiara O. Dalenogare, Romulo R. Santos, Samira Junges, Priscilla Alves Collin, Magali C. Borges e as Dosimetristas, Ana A. A. Charão, Josiane M. Thomé, Aline F. Motta, do serviço de radioterapia do HSR/ISCOMPA, pelo apoio educacional e motivacional dedicado a realização dessa pesquisa. Também agradeço ao Programa de Residência Uniprofissional em Física Médica ênfase em Radioterapia da UFCSPA.

Referências

1. Bortfeld T., Boyer A. L., Schlegel W., Kahler D. L., Waldron T.J. "Realization and verification of three-dimensional conformal radiotherapy with modulated fields" J. Radiat. Oncol. 30, 899-908, 1994.
2. Watanabe, E.Y., "Avaliação do Dispositivo Eletrônico de Imagem Portal "portal dosimetry" no Controle de Qualidade de Radioterapia de Intensidade Modulada". [Dissertação Mestrado em Ciências], São Paulo, IPEN/USP, 2012.
3. Low D.A., Moran J.M., Dempsey J.F., Dong L., Oldham M. "Dosimetry tools and techniques for IMRT" Report Task Group 120, AAPM, Medical Physics 38, (3), 2011.
4. Lavor, M. "Avaliação das Ferramentas de Controle de Qualidade para Pacientes Submetidos ao IMRT" [Dissertação de Mestrado], São Paulo, IPEN/USP, 2011.
5. Sanchez-Doblado, F., Hartmann, G.H., Pena J., Capote R., Paiusco M., Rhein B., Leal A., and Lagares J.I. "Uncertainty Estimation in Intensity Modulated Radiotherapy Absolute Dosimetry Verification". Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 68, 301-310, 2007.

6. Silveira T.B, Lima M.B, Rosa L.A.R. "Comparação entre Dispositivos Eletrônicos de Imagens Portais e Matriz de Câmaras de Ionização para Garantia da Qualidade de Radioterapia de Intensidade Modulada". Revista Brasileira de Física Médica, 6(2):25-8, 2012
7. SOUZA, R. S. "Desenvolvimento de um Sistema para Controle de Qualidade em Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT)". UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2012.
8. Varian Medical System. "Reference Guide for Portal Dosimetry, 2005". [Acessado em 15/10/2016] Endereço: <https://pt.scribd.com/document/327330182/Portal-Dosimetry-Reference-Guide>
9. Varian Medical Systems "Guia de Especificações", 2006. [Acesso em 15/10/2016] Endereço: <http://www.behestandarman.com/varian%20products/Portal%20Image/>
10. IBA Dosimetry – "User's Guide" – Omnipro-I'mRT, System Version 1.7b 2010.
11. TEC DOC 1151: aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Rio de Janeiro: INCA, 2000.
12. ICRU Report 50: Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy. Bethesda, MD: International Commission on Radiation Units and Measurements, 1993.
13. ICRU Report 83: Prescribing, Recording, and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT), Journal of the ICRU, 10: 1-106, abr. 2010.
14. Ezzel A. G et al. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119, Medical physics, 2009.
15. IAEA Technical Report Series N° 398 Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: Na international code of practice for dosimetry based on standards for absorbed dose to water. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2000.
16. Bianchini A. L. B., Oliveira H. F., Pavoni J. F., Amaral L. L. Desenvolvimento e validação de algoritmo computacional da função gama. Revista Brasileira de Física Médica V.4 n.1, 2010.
17. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa, "Regulamento Técnico para o funcionamento de serviços de radioterapia". Resolução da Diretoria Colegiada RDC n° 20, de 02 de fevereiro de 2006.
18. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear Norma CNEN NN 6.10 "Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Radioterapia", última atualização, 2014.
19. Miften M. et. al. "Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218." Medical physics, 2018.

Contato:

Autor Correspondente:

Noé Ricardo Timm

Programa de Residência de Física Médica de Radioterapia da Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA/ISCOMPA)
Av. Sarmiento Leite 24 Porto Alegre/RS- CEP 90050-170 - E-mail: noe@ufcspa.edu.br