

Avaliação da sensibilidade do ArcCHECK na detecção de erros de posicionamento do MLC

ArcCHECK Sensitivity Assessment in Detecting MLC Positioning Errors

Fernanda G. Biagioni¹, Henrique B. Campanelli¹, Victor A. B. Ribeiro², Paulo T. D. Siqueira³, Julian M. B. Shorto³, Alexandre R. Serante²

¹Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

²Serviço de Radioterapia, Hospital das Clínicas HCFMUSP, Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

³Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP), São Paulo, Brasil

Resumo

Técnicas modernas de tratamento como a técnica de Arcoterapia Volumétrica Modulada (VMAT, do inglês Volumetric Modulated Arc Therapy) têm sido amplamente utilizadas na prática clínica para diversas regiões de tratamento, e a avaliação do efeito dosimétrico devido a erros de posicionamento do multileaf (MLC) tem sido estudada por alguns autores. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade do ArcCHECK em detectar erros de posicionamento do MLC em campos estáticos, arcos estáticos e para planejamentos do AAPM TG-119 usando análise gamma com os critérios de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm. Os resultados encontrados sugerem que o ArcCHECK é sensível para detectar erros sistemáticos e randômicos maiores do que 2 mm, nos casos do AAPM TG-119 utilizando os critérios gamma de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm. Porém usar apenas análise gamma possibilita que alguns erros não sejam detectados na prática clínica, se a porcentagem de pontos aprovados com índice gamma é maior que o índice de confiança da instituição.

Palavras-chave: ArcCHECK, critério gamma, multileaf

Abstract

Modern treatment techniques such as Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) have been widely used in clinical practice for various treatment sites, and the assessment of dosimetric effects due to multileaf (MLC) positioning errors has been studied by several authors. The objective of this study was to evaluate the sensitivity of ArcCHECK in detecting MLC positioning errors in static fields, static arcs, and AAPM TG-119 treatment plans using gamma analysis with criteria of 3%/3 mm, 3%/2 mm, and 2%/2 mm. The results suggest that ArcCHECK is sensitive to detect systematic and random errors larger than 2 mm in AAPM TG-119 cases using gamma criteria of 3%/3 mm, 3%/2 mm, and 2%/2 mm. However, relying solely on gamma analysis may result in some errors going undetected in clinical practice if the percentage of points passing the gamma index is higher than the institution's confidence level.

Keywords: ArcCHECK, criteria gamma, multileaf

1. Introdução

As técnicas de intensidade modulada do feixe de irradiação (*Intensity Modulated Radiation Therapy*, IMRT e *Volumetric Modulated Arc Therapy*, VMAT) estão cada vez mais presentes nos centros de radioterapia, possibilitando o escalonamento da dose e o aumento da qualidade do planejamento de tratamento em termos da probabilidade de controle tumoral (*Tumoral Control Probability*, TCP) e da probabilidade de complicação de tecido normal (*Normal Tissue Complication Probability*, NTCP).

A técnica de VMAT possibilita a variação contínua e simultânea da taxa de dose, velocidade de *gantry* e posicionamento do colimador multilâminas (*Multi-Leaf Collimator*, MLC). Devido à complexidade da entrega da dose, os testes de controle da qualidade (CQ) são muito importantes para verificar a coordenação e acurácia dos diferentes parâmetros. Existem diversos dispositivos dosimétricos disponíveis no mercado para realizar os testes de CQ, como o Matrixx (IBA Dosimetry, Schwarzenbruck, Germany) e MapCheck (Sun Nuclear Corporation, Melbourne, FL) para uma avaliação de dose bidimensional e o ArcCHECK

(Sun Nuclear Corporation) para dosimetria tridimensional.

O ArcCHECK é um sistema para CQ de dosimetria tridimensional, aplicado principalmente para verificar planejamentos de VMAT, comparando a medida de distribuição de dose entregue com a distribuição de dose calculada pelo sistema de planejamento (*Treatment Planning System*, TPS) (Thiyagarajan, et al., 2016).

Os critérios de aceite do teste de CQ de IMRT são baseados no AAPM TG-119, que possui planos de tratamento pré-definidos: *multi target*, próstata, cabeça e pescoço, *C-Shape Easy* e *C-Shape hard*. Nesses modelos são apresentados os objetivos dosimétricos que devem ser obtidos nos planejamentos.

Para realizar a análise dos planejamentos obtidos utilizou-se a função *gamma* em que DD é a diferença entre a dose do ponto de comparação e a dose no ponto correspondente no plano, e DTA é a distância entre os pontos dos dados medidos e o ponto mais próximo a distribuição de dose calculada que possui a mesma dose (Ezzell, et al., 2009), (Low, et al., 1998).

Feito isso, é possível realizar uma comparação com os resultados obtidos por outras instituições

que utilizam o mesmo critério de análise e depois obter o índice de confiança da instituição.

Um novo documento da AAPM, o TG 218 foi publicado em 2018, propondo um novo limite de tolerância (3%/2 mm) e metodologias para medição. (Miften, et al., 2018) Esse trabalho avalia a sensibilidade do dispositivo ArcCHECK na detecção de erros de posicionamento do MLC, utilizando a função *gamma* como critério de análise.

2. Materiais e Métodos

2.1. Acelerador Linear:

Os testes realizados neste trabalho foram feitos em um acelerador linear Elekta Synergy Full, do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP), equipado com o MLCi2, com 40 pares de lâminas de 1 cm de largura. Capaz de gerar feixes de fótons de 6 MV e 15 MV, com taxa de dose variável entre 0 e 600 UM/min.

Nesse trabalho, utilizou-se uma taxa de dose variável e a energia de 6 MV.

2.2. ArcCHECK

O ArcCHECK é composto de um cilindro de 26,6 cm de diâmetro, feito de material água equivalente (PMMA). Possui uma matriz de 1386 diodos detectores (0,8 x 0,8 mm² de tamanho ativo), sendo 21 anéis em padrão helicoidal, com 66 detectores em cada anel e com espaçamento de 1 cm entre eles. Os diodos estão localizados 2,9 cm abaixo da superfície do ArcCHECK, o que equivale a 3,3 cm de profundidade equivalente em água. Interiormente, outro cilindro (15 cm de diâmetro) é projetado para acomodar diversos detectores, como câmara de ionização ou filme radiocrômico.

A aquisição e análise das medidas foram feitas no *software* SNC Patient, versão 8.2 (Sun Nuclear). O SNC Patient permite fazer a comparação entre as distribuições de dose medida e calculada pelo TPS (Vieilleveigne, Molinier, Brun, & Ferrand, 2015). A análise foi feita utilizando o critério *gamma* local para dose absoluta, e os critérios foram de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm.

2.3. Teste de aceite

O índice de confiança da instituição utilizando o detector ArcCHECK foi definido realizando o controle da qualidade dos planejamentos dos casos do AAPM TG-119.

Os casos são planejados de acordo com os critérios definidos pelo TG119, e depois é realizado o controle da qualidade paciente-específico. A partir dos resultados encontrados, usando o mesmo critério *gamma*, define-se o índice de confiança para o controle de qualidade paciente específico do sistema de CQ, para os tratamentos dos pacientes.

O teste de aceite do ArcCHECK foi realizado na instituição em 2020, utilizando o critério de 3%/3 mm. Neste trabalho, os dados foram reanalisados para os critérios *gamma* local de 3%/2 mm (TG 218) e 2%/2 mm para definir seu índice de confiança correspondentes.

2.4. Testes de desempenho

O ArcCHECK foi posicionado em cima da mesa de tratamento do acelerador linear, e seu alinhamento foi realizado utilizando os lasers da sala e o retículo do acelerador linear.

A fim de verificar a estabilidade e reprodutibilidade dosimétrica, antes de cada medida experimental, foi feita a medida de um campo padrão com 10 x 10 cm², energia de 6 MV, taxa de dose de 300 UM/min e 100 UM.

- **Erros sistemáticos de banco de lâminas e de uma lâmina única em campo estático**

Os erros no MLC foram inseridos utilizando o *software* iComCAT versão 1.0.0.12 (Elekta iCom Customer Acceptance Test). Através deste *software*, foi possível criar campos de tratamento personalizados, que foram executados pelo acelerador linear. Assim, foram introduzidos erros de 1, 2 e 3 mm em uma única lâmina central do banco de lâmina X2, e em todo o banco de lâminas X2, a partir de um campo quadrado de 10 x 10 cm². O colimador, mesa de tratamento e *gantry* foram mantidos em 0° e foram entregues 100 UM, com taxa de dose de 300 UM/min. Os resultados foram comparados com o campo estático sem erros.

- **Erros sistemáticos de banco de lâminas e de uma lâmina única em arco estático**

Foram criados arcos estáticos, com tamanho de campo de 10 x 26 cm², com erros de posicionamento introduzidos no banco de lâmina X2 e erros em uma lâmina única (central) também no banco de lâmina X2, sendo esses de 1 mm, 2 mm e 3 mm. Os resultados obtidos foram comparados com a distribuição de dose calculada pelo TPS do campo de arco estático sem erro. O colimador e a mesa de tratamento foram mantidos em 0°.

Para evitar a influência da atenuação do feixe pela mesa de tratamento, foi feita uma primeira medida utilizando um arco de 270° a 90°, e então, o ArcCHECK foi rotacionado em torno do eixo longitudinal para posicionar os detectores posteriores para a região anterior, conforme figura 1, e em seguida o mesmo arco de 90° a 270° foi irradiado.

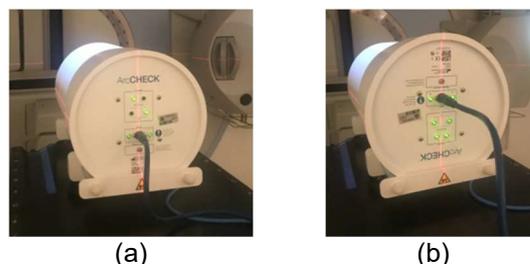


Figura 1. Posicionamento do ArcCHECK (a) para o primeiro arco estático de 270° a 90°, (b) rotacionado em 180° para arco de 90° a 270°.

- **Erros sistemáticos de banco de lâminas em arco dinâmico**

Os arquivos DICOM dos três planos: próstata, cabeça e pescoço e *C-Shape Easy* do AAPM TG-119 foram exportados do TPS Monaco (5.51.10) e, através de um algoritmo desenvolvido em Python (versão 3.8.6), foi possível modificar o posicionamento das lâminas do MLC e introduzir erros de 1 mm, 2 mm e 3 mm em todo o banco de lâmina X2.

Posteriormente, a distribuição medida com essa modificação nos planejamentos foi comparada com a distribuição sem erro obtida pelo TPS.

- **Erros randômicos de banco de lâminas em arco dinâmico**

Foi realizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, porém os erros introduzidos no banco de lâminas X1 e X2 foram randômicos, As lâminas podiam estar mais abertas ou fechadas e sua posição variava de acordo com a posição do MLC no plano de origem. A posição dos colimadores não foi alterada.

Os erros associados foram de 1 mm, 2 mm e 3 mm em cada um dos planos dos casos analisados.

3. Resultados

Ao aplicar o critério de aceite baseado no AAPM TG-119 nos resultados do dispositivo ArcCHECK, encontrou-se o índice de confiança da instituição (ICESP) representado na tabela 1. (Ezzell, et al., 2009)

Tabela 1. Índice de confiança obtido na análise dos casos do AAPM TG-119 para o critério *gamma* de 3%/3 mm, 3%/2 mm 2%/2 mm

Critério	3%/3 mm	3%/2 mm	2%/2 mm
Índice de confiança	95,7%	86,4	83,2%

Fonte: O Autor (2023).

Sendo assim, para que os testes de CQ avaliados com o ArcCHECK sejam aceitos como aprovados, é preciso que se garanta acurácia na avaliação da medida, ou seja, a porcentagem de pontos aprovados deve ser superior ao representado na tabela 1 em todos os casos.

- **Erros de banco de lâminas e de uma lâmina única em campo estático**

As figuras a seguir apresentam as comparações da distribuição de dose com erros no banco de lâminas (figura 2) e apenas na lâmina central (figura 3). Os pontos de falha da análise são mostrados em vermelho (maior dose), e podem ser notados para dose de entrada e para dose de saída. Os resultados utilizando todos os critérios de análise *gamma* podem ser observados nas figuras 4 e 5, as linhas tracejadas nos gráficos indicam os índices de confiança da instituição que estão na tabela 1.

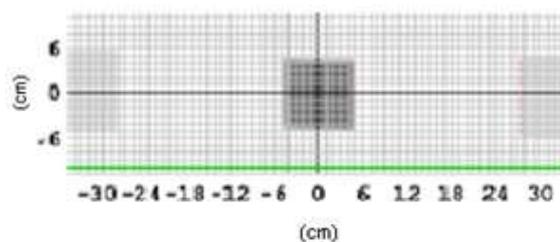


Figura 2. Análise *gamma* de um erro de 3 mm no banco de lâminas, com critério 3%/3 mm.

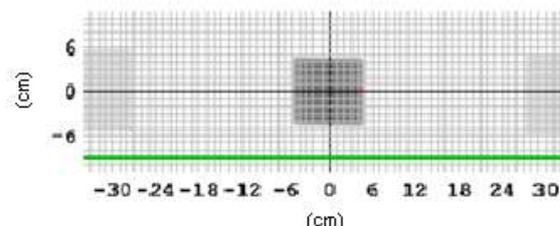


Figura 3. Análise *gamma* de um erro de 3 mm em uma única lâmina centralizada, com critério 3%/3 mm.

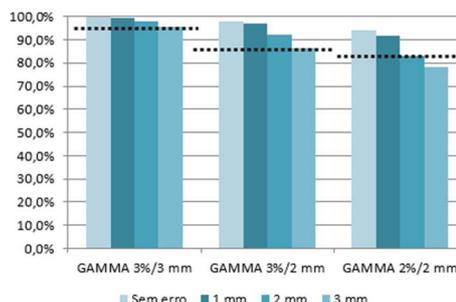


Figura 4. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, com erros associados no banco de lâmina X2 em um campo estático.

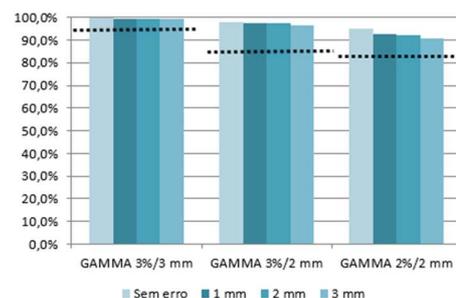


Figura 5. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, com erros associados em uma lâmina central do banco de lâmina X2 em um campo estático.

- **Erros sistemáticos de banco de lâminas e de uma lâmina única em arco estático**

Na avaliação de um plano sem erros comparado com o TPS, temos que 99,5% dos pontos passam no critério *gamma* de 3%/2 mm; enquanto que no plano com erro de 3 mm, 24,0% dos pontos passam no mesmo critério, além disso, esses pontos de falha estão associados a região do banco de lâmina em que foi introduzido o erro no MLC.

Conforme o erro introduzido aumenta de tamanho, ocorre uma diminuição da porcentagem de pontos aprovados, para todos os critérios avaliados conforme evidencia a figura 6.

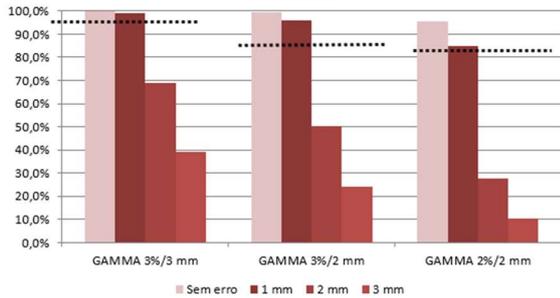


Figura 6 Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, com erros associados no banco de lâmina em arco estático.

No teste em que o erro foi introduzido apenas na lâmina central do banco X2 do MLC, é possível observar a falha de pontos no critério *gamma* na região central do detector, que corresponde à região em que foi introduzido o erro no MLC, como observado na figura 7.

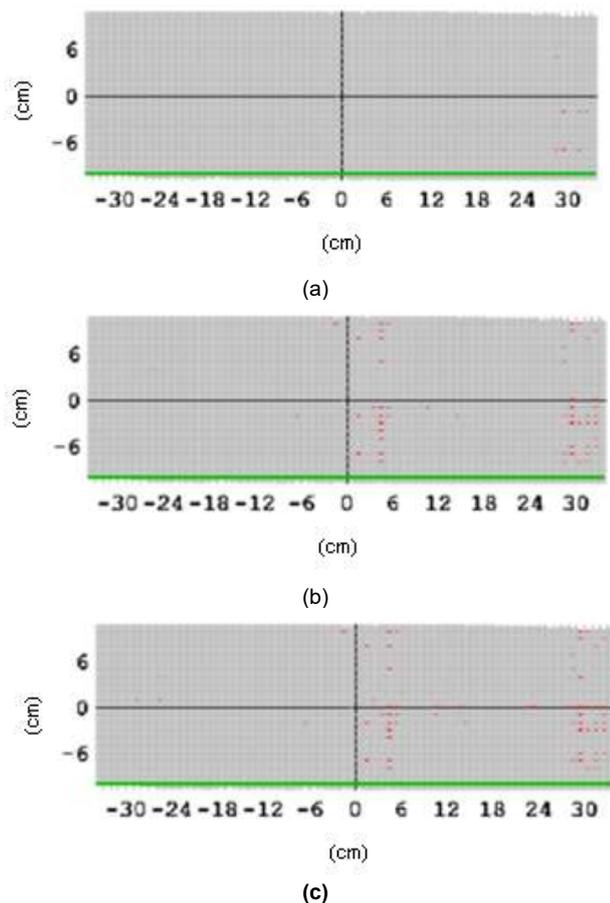


Figura 7. Resultado do critério *gamma* de 3%/2 mm para diferentes erros inseridos de uma única lâmina central do MLC. (a) Sem erros (b) erro de 1 mm (c) erro de 3 mm

A avaliação dos resultados encontrados com o critério *gamma* de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm, para o erro de uma lâmina única em arco estático, está representada na figura 8.

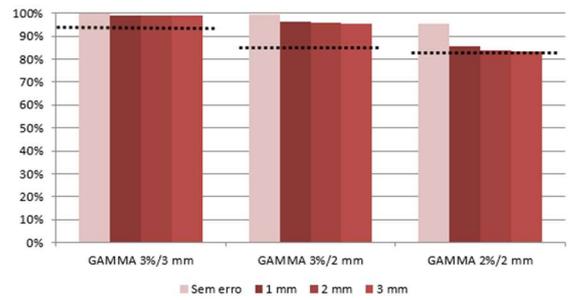


Figura 8. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, com erros associados em uma única lâmina em arco estático.

• **Erros sistemáticos de banco de lâminas em arco dinâmico**

Avaliando o resultado dos casos de próstata, cabeça e pescoço e *C-Shape Easy* para erros sistemáticos no banco de lâminas em arco dinâmico, é possível notar que a porcentagem dos pontos aprovados é reduzida de acordo com o aumento do erro associado, como pode ser observado nas figuras 9, 10 e 11.

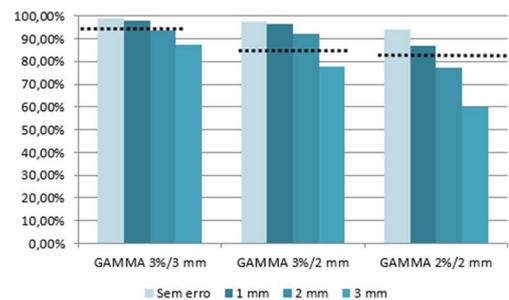


Figura 9. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros sistemáticos no banco de lâminas X2 em arco dinâmico, no caso do AAPM TG-119 de próstata.

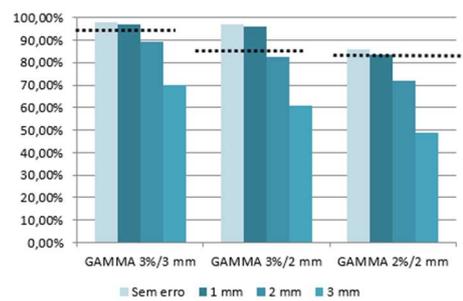


Figura 10. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros sistemáticos no banco de lâminas X2 em arco dinâmico no caso do AAPM TG-119 de cabeça e pescoço.

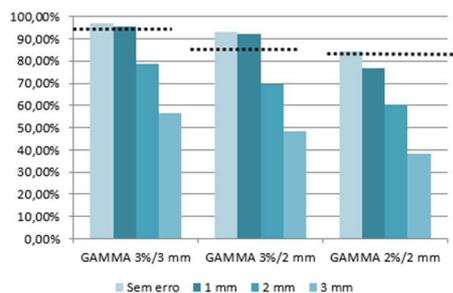


Figura 11. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros sistemáticos no banco de lâminas X2 em arco dinâmico no caso do AAPM TG-119 de C-Shape Easy.

Para o caso do C-Shape Easy, a alteração na posição das lâminas foi mais perceptível do que nos demais casos, como pode ser observado na figura 11.

- **Erros randômicos de banco de lâminas em arco dinâmico**

Os resultados de porcentagem de pontos aprovados no critério *gamma* para os casos de próstata, cabeça e pescoço e C-Shape Easy são mostrados nas figuras 12, 13 e 14. Assim como nos outros testes, é possível notar que a porcentagem dos pontos aprovados diminui de acordo com o aumento do erro associado e com a escolha de um critério mais rígido.

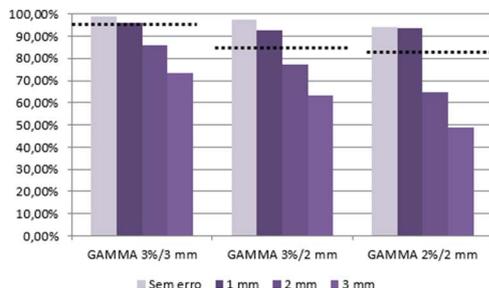


Figura 12. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros randômicos no caso do AAPM TG-119 de próstata.

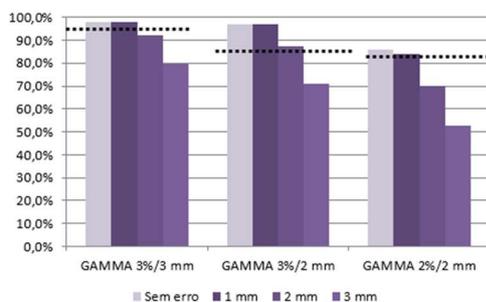


Figura 13. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros randômicos no caso do AAPM TG-119 de cabeça e pescoço.

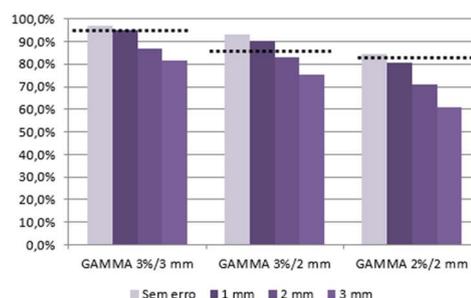


Figura 14. Comparação da porcentagem dos pontos que passaram no critério *gamma*, para erros randômicos no caso do AAPM TG-119 de C-Shape Easy.

A maior variação da porcentagem dos pontos, ou seja, a maior diferença entre a porcentagem de pontos aprovados nos planos sem erros e a porcentagem de pontos aprovados com erros de 3 mm que passaram no critério *gamma* de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm, estão representados na tabela 2.

Tabela 2. Avaliação da variação máxima das porcentagens dos pontos que passaram com os critérios de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm para o erro randômico

Região	3%/3 mm	3%/2 mm	2%/2 mm
Próstata	25,50	34,4	45,1
Cabeça e Pescoço	18,5	26,0	33,4
C-Shape Easy	15,3	17,7	23,6

Fonte: O Autor (2023).

Dessa maneira, a sensibilidade na variação dos resultados encontrados para o critério *gamma* de 2%/2 mm é maior do que para o 3%/3 mm em todos os casos, pois a quantidade de pontos que apresentam falha é maior.

4. Discussão

Avaliando os limites de sensibilidade do ArcCHECK para erros de posicionamento do MLC em campos estáticos, foi possível observar que erros maiores ou iguais a 3 mm em um banco de lâminas conseguem ser detectados com precisão ao se avaliar a porcentagem de pontos que falham no critério *gamma* local.

A escolha da utilização do critério *gamma* local foi devido a avaliação dos critérios estabelecidos ponto a ponto em toda a matriz de detectores do ArcCHECK, ao contrário do que ocorreria se fosse analisado o critério *gamma* global, que o resultado obtido seria uma avaliação de uma região de interesse definido.

Sendo assim, baseado no índice de confiança da instituição, o plano com erro de 3 mm associado ao banco de lâmina X2 seria reprovado, com os critérios *gamma* de 3%/3 mm, 3%/2 mm e 2%/2 mm e, portanto, o erro seria detectado. Os demais erros de 1 mm e 2 mm apresentaram resultados acima do limite de confiança institucional, ou seja, ainda que os detectores estivessem demonstrando falha, o plano que os contém seria aprovado. Isso pode ser explicado pelo baixo número de pontos que são

reprovados no critério *gamma* em um campo $10 \times 10 \text{ cm}^2$, ainda que os erros fossem detectados, a porcentagem de pontos que falhavam não excedia 5% dos pontos avaliados.

Baseado apenas no critério *gamma*, os erros em uma única lâmina central não seriam um impeditivo ao tratamento. No entanto, como observado na figura 3, ao analisar a matriz de detectores do ArcCHECK é possível verificar, visualmente, uma falha na região central, caracterizada por esse erro que não existe no campo estático sem erros.

Para o erro de posicionamento sistemático do banco de lâminas em um arco estático, é possível afirmar que o ArcCHECK não é capaz de detectar erros iguais ou menores a 1 mm com os critérios *gamma* empregados. Um erro igual ou maior a 2 mm faria com que a quantidade de pontos que passaram com os critérios *gamma* usados fossem menores do que o índice de confiança da instituição, ou seja o plano seria reprovado.

Quando o erro inserido em um arco estático foi em uma única lâmina, o ArcCHECK não foi sensível para detectar erros de até 3 mm, independente do critério utilizado para função *gamma* (figura 8). Isso se deve ao fato de que uma única lâmina afetará poucos detectores. Ainda que exista uma pequena diminuição no valor de pontos aprovados, essa diminuição não é suficiente para se afirmar que o campo está com algum erro de posicionamento de MLC associado.

Uma análise *gamma* com critério mais restritivo, como 3%/2 mm, detectou diferenças de dose nas bordas dos campos irradiados em regiões nas quais não foram inseridos erros, portanto o resultado da análise *gamma* não se deve apenas ao erro inserido nas lâminas, mas também a outros erros associados, como: penumbra, dependência angular, rotação do *gantry*, e tamanho de campo entre outros, que foram estudados por alguns pesquisadores (Chaswal, V., et al, 2014).

Utilizando a matriz do ArcCHECK para comparar planos com e sem erro, é possível observar desvios mesmo que o valor do índice *gamma* indique que o plano está aprovado. Mas se se observar somente o resultado da análise *gamma*, pode não se notar o desvio.

Quando o erro sistemático foi associado a um arco dinâmico (VMAT), a função com critério de 3%/3 mm só foi capaz de detectar erros maiores ou iguais a 2 mm do banco de lâminas. Assim, erros de 1 mm não impediriam o tratamento, resultando em porcentagem de pontos aprovados acima de 95,7%. Quando o critério foi mais restritivo (2%/2 mm) o ArcCHECK foi capaz de detectar erros de até 1 mm, exceto para o caso de próstata em que só se detectaram erros iguais ou maiores a 2 mm.

Para o erro randômico em todo o banco de lâminas, nos casos de próstata e cabeça e pescoço o erro igual ou maior que 2 mm é um impeditivo para o tratamento, pois com todos os critérios avaliados nesse trabalho, o *gamma* permaneceu abaixo dos

índices de confiança da instituição (95,7%, 86,4% e 83,2% respectivamente).

O erro sistemático do posicionamento do MLC, seja em banco de lâmina ou em planos de VMAT, influencia mais que o erro randômico, na porcentagem de pontos que são aprovados nos critérios *gamma* usados. Isso foi observado nos casos de cabeça e pescoço (fig. 13) e *C-Shape Easy* (fig. 14), em que os erros sistemáticos, foram mais facilmente detectados. Essa característica pode ser decorrente do fato do posicionamento da lâmina no erro randômico ser aberta ou fechada de acordo com a posição da lâmina no plano original, fazendo com que nesse erro a porcentagem de pontos que passam no critério *gamma* seja maior do que em erros sistemáticos.

Sendo assim, independentemente do sítio anatômico a ser tratado e do tipo de erro associado ao detector o erro do posicionamento da lâmina igual ou maior a 2 mm, seria detectado em todos os casos, mesmo com a avaliação de DD de 3% e DTA de 3 mm, portanto, o detector possui sensibilidade para a detecção de erros desta magnitude.

De modo geral, o ArcCHECK associado ao critério *gamma* não é capaz de detectar erros de 1 mm, não havendo garantia de detecção de erros de posicionamento de lâmina dessa magnitude no CQ pré-tratamento. Conforme era esperado, para um critério *gamma* mais restritivo, o número de pontos que falham aumenta.

Vieilleveigne (Vieilleveigne, Molinier, Brun, & Ferrand, 2015) investigou três dispositivos (ArcCHECK, 2D-array e EPID) para erros de MLC e concluiu que os três dispositivos possuem o potencial de identificar erros de 1 mm, 2 mm e 3 mm. Ainda assim o CQ pode não identificar erros sistemáticos de MLC (aberto ou fechado) menores do que 2 mm, utilizando um critério *gamma* de 3%/3 mm.

Embora o critério *gamma* seja amplamente empregado na prática clínica, recentes publicações levantam a preocupação de detecção de erros (Liang, Liu, Zhou, Yin, & Wu, 2016), demonstrando que mesmo com erros intencionais, a taxa de aprovação pode ser superior a 90% na avaliação de erros de posicionamento de MLC de 1 a 5 mm em planos de próstata e cabeça e pescoço, utilizando o critério 2%/2 mm.

O trabalho de Saito (Saito, et al., 2018) utiliza três planos de reforço de dose (*boost*) de cabeça e pescoço, três de próstata e três de SBRT (radioterapia estereotáxica extracraniana) de pulmão, adicionando erros de banco de lâminas aberto sistematicamente em 0,75; 0,50 e 0,25 mm e fechado em -0,25; -0,50 e -0,75 mm em cada banco e com erro randômico podendo ser aberto ou fechado em 1 mm. Os resultados mostraram que utilizar diferença de dose (DD) pode ser mais sensível que utilizar a análise *gamma* para verificação de erros de posicionamento de MLC no CQ. Porém, isso não pode ser aplicado ao

ArcCHECK, devido a uma característica limitante do *software* SNC Patient, versão 8.2 (Sun Nuclear) que não permite a análise dos resultados por diferença de dose como sugerido nessa literatura.

Os autores concluem que o ArcCHECK pode detectar erros de posicionamento de MLC, mas que determinados erros podem não ser notados utilizando apenas o critério *gamma*.

5. Conclusões

Esse estudo reforça o que já foi observado na literatura: realizar o CQ paciente-específico com o ArcCHECK não necessariamente detecta erros da ordem de 1 mm, quando utilizado o critério *gamma* para análise dos resultados. Porém, como é o método de avaliação da prática clínica, é necessário cautela na avaliação, porque nas análises alguns erros podem ser imperceptíveis.

Como todos os casos avaliados foram comparados com os planos que não apresentam erros, na matriz de detectores do ArcCHECK é possível notar visualmente as regiões de falha, concluindo que este dispositivo é capaz de detectar esses erros. No entanto, a avaliação em termos do critério *gamma*, metodologia utilizada na prática clínica, não é a adequada para detectar esses erros, pois com o critério *gamma* de 3%/3 mm e avaliando apenas a porcentagem dos pontos aprovados, erros associados aos planos não seriam perceptíveis na rotina clínica.

No caso de erro de posicionamento de uma única lâmina em campo estático ou arco estático, nenhum erro seria perceptível na rotina clínica com os critérios de 3%/3 mm e 2%/2 mm.

O erro de deslocamento do MLC acima de 2 mm foi detectado em todos os casos do AAPM TG-119 analisados nesse trabalho.

A tolerância do critério *gamma* de 2%/2 mm leva a uma redução da porcentagem de pontos aprovados maior do que com 3%/3 mm, como esperado devido o critério ser mais restritivo.

Sendo assim, o ArcCHECK é capaz de detectar erros de posicionamento de MLC para campos estáticos, arcos estáticos e em tratamentos de arcoterapia volumétrica modulada quando comparados com planos de tratamento sem erros. Porém avaliar apenas com os valores encontrados no critério *gamma* faz com que alguns erros não sejam detectados na prática clínica, pois a porcentagem de pontos aprovados estaria acima do índice de confiança estabelecido na instituição.

Agradecimentos

Agradecimento aos autores do trabalho, a todos do departamento de física médica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (HCFMUSP) e ao Ministério da Saúde e ao Ministério da Educação pelo apoio financeiro concedido durante o período de residência.

Referências

1. Aristophanous M., Suh Y., Chi PC., Whittlesey LJ., LaNeave S., Martel MK. Initial clinical experience with ArcCHECK for IMRT/VMAT QA. *Journal of applied clinical medical physics*, 2016, 17(5), 20-33.
2. Ezzell GA, Burmeister JA, Dogan N, LoSasso TJ, Mechalakos JG, Dimitris M, Molineu A, Palta JR, Ramsey CR, Salter BJ, Shi J, Xia P, Yue NJ, Xiao Y. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. *Medical Physics*, 2009, 36(11), 5359-5373.
3. Liang B, Liu B, Zhou F, Yin F, Wu Q. Comparisons of volumetric modulated arc therapy (VMAT) quality assurance (QA) systems: sensitivity analysis to machine errors. *Radiation Oncology*. 2016, 11 (1), 1-10
4. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Medical Physics*, 1998, 25 (1), 656-661.
5. Miften M, Olch A, Mihailidis D, Moran J, Pawlicki T, Molineu A, Li H, Wijesooriya K, Shi J, Xia P, Papanikolaou N, Low DA. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. *Medical Physics*, 2018, 45(4), e53-e83.
6. Oliver M, Gagne I, Bush K, Zavgorodni S, Ansbacher W, Beckham W. Clinical significance of multi-leaf collimator positional errors for volumetric modulated arc therapy. *Radiation Oncol*, 2010, 97 (3), 554-60.
7. Saito M, Sano N, Shibata Y, Kuriyama K, Komiyama T, Marino K, Aoki S, Ashizawa K, Yoshizawa K, Onishi H. Comparison of MLC error sensitivity of various commercial devices for VMAT pre-treatment quality assurance. *J Appl Clin Med Phys*. 2018 May;19(3):87-93.
8. Thiyagarajan, R, Nambiraj A, Sinha, SN., Yadav, G, Kumar, A., Subramani V, Kothandaraman V. Analyzing the performance of ArcCHECK diode array detector for VMAT plan. *Reports of practical oncology and radiotherapy*, 2016, 21(1), 50-56.
9. Vieilleveigne L, Molinier J, Brun T, Ferrand R. Gamma index comparison of three VMAT QA systems and evaluation of their sensitivity to delivery errors. *Physica medica*, 2015, 31(7), 720-725.
10. Chaswal V, Weldon M, Gupta N, Chakravarti A, Rong Y. Commissioning and comprehensive evaluation of the ArcCHECK cylindrical diode array for VMAT pretreatment delivery QA. *J Appl Clin Med Phys*. 2014.15 (4), 212-225.

Contato:

Fernanda Guzzi Biagoni
Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil
Avenida Doutor Arnaldo, 251, Cerqueira César, 4 subsolo. CEP: 01246-000, São Paulo-SP
Fernanda_guzzi@hotmail.com