

Análise da sensibilidade do ArcCHECK® ArcCHECK® sensitivity analysis

Amanda C. Mazer¹, Julian M. B. Shorto¹, Paulo T. D. Siqueira¹, Marcos V. N. Nakandakari²,
Victor A. B. Ribeiro³, Hélio Yoriyaz¹

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), São Paulo, Brasil

²Beneficência Portuguesa de São Paulo, São Paulo, Brasil

³Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
(InRad-HCFMUSP), São Paulo, Brasil

Resumo

Este artigo apresenta uma análise da sensibilidade do sistema dosimétrico ArcCHECK, através de comparações entre medidas experimentais envolvendo alguns tipos de deslocamentos mecânicos e medidas de uma referência fixa. O ArcCHECK é um sistema que contém 1386 diodos dispostos de forma helicoidal e que permite realizar medições para Controle de Qualidade de técnicas de radioterapia mais modernas e complexas. Foram feitas algumas medidas iniciais de repetibilidade e de linearidade e, em sequência, análises da capacidade do dispositivo em identificar erros de deslocamentos em diferentes direções, bem como a visualização de efeitos da resolução dos diodos. Foram encontradas diferenças consideráveis nos valores de dose entre deslocamentos pequenos e a referência. Também foram observadas deformações nas curvas de isodose para determinados ângulos de irradiação do sistema. O ArcCHECK foi considerado bastante sensível, dada a metodologia de análise, porém deve ser utilizado com cautela quando posicionado para realizar Controle de Qualidade.

Palavras-chave: ArcCHECK; dosimetria; controle de qualidade; radioterapia.

Abstract

This paper presents an analysis of the sensitivity of the dosimetric system ArcCHECK through comparisons between experimental data involving some types of mechanical displacements and measures of a fixed reference. ArcCHECK is a device that contains 1386 helically arranged diodes and allows performing Quality Assurance measurements of modern and complex radiation therapy techniques. Some initial measures of repeatability and linearity were made and, in sequence, analyzes of the device's ability to identify displacement errors in different directions, as well as visualization of diode resolution effects. Significant differences in dose values between small displacements and reference were found. Deformations were also observed in the isodose curves for certain irradiation angles of the system. ArcCHECK was considered very sensitive, given the methodology of analysis, however it should be used with caution when positioned to perform Quality Assurance.

Keywords: ArcCHECK; dosimetry; quality assurance; radiation therapy.

1. Introdução

Atualmente, com o avanço da tecnologia principalmente nas clínicas e hospitais, os equipamentos e técnicas de radioterapia têm se tornado cada vez mais precisos, sempre visando um tratamento em que seja possível conformar mais a administração de dose ao alvo tumoral e poupar tecidos saudáveis adjacentes. Técnicas mais modernas, como a radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT), a Arcoterapia Volumétrica Modulada (VMAT) e até a Tomoterapia, já são bastante utilizadas, apesar de demandarem maior complexidade de todo o sistema e, portanto, um melhor controle de qualidade (CQ)¹.

A fim de garantir o bom funcionamento de todo esse sistema complexo de administração de dose, deve-se manter um controle de qualidade seguro e o mais preciso possível na rotina clínica². Para isso, frequentemente novos equipamentos dosimétricos

desenvolvidos para CQ em radioterapia são comissionados, comissionamentos esses que auxiliam no entendimento das respostas e limites de determinado equipamento. Assim, é muito comum que físicos realizem testes da sensibilidade de um dosímetro, ou de um sistema dosimétrico, a fim de verificar sua capacidade em identificar erros relevantes gerados pelo sistema de administração de dose ou pelo sistema de planejamento de tratamento (TPS)³. Essas análises podem ocorrer através de medidas envolvendo deslocamentos mecânicos intencionais, podendo variar de movimentos na mesa de tratamento, no cabeçote do acelerador linear, nas posições dos colimadores multilâminas (MLC), entre outros^{4,5}.

Ainda esta década, a Sun Nuclear Corporation comercializou um sistema dosimétrico 3D, chamado ArcCHECK, um dispositivo que permite realizar medições para CQ em equipamentos que realizam técnicas como VMAT, Tomoterapia e afins⁶. Vários

estudos vêm sendo feitos com o ArcCHECK, analisando desde os testes iniciais que devem ser feitos até verificações já com planejamentos de pacientes clínicos^{7,8}.

O objetivo deste artigo é apresentar análises da sensibilidade do ArcCHECK, realizadas através de medidas experimentais envolvendo alguns tipos de deslocamentos mecânicos.

2. Materiais e Métodos

2.1. ArcCHECK

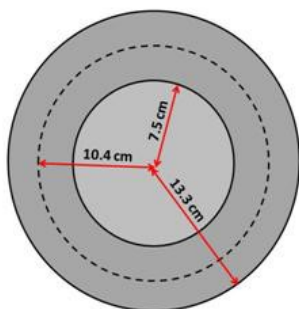
O ArcCHECK é um sistema dosimétrico destinado à medição de distribuições de dose que são, geralmente, comparadas com aquelas calculadas pelo TPS. Por possuir uma distribuição 3D de detectores, permite a medição principalmente em equipamentos mais complexos. Seus 1386 diodos SunPoint® estão fixados e distribuídos de forma helicoidal no interior de uma estrutura cilíndrica de Polimetilmetacrilato (PMMA), equivalente a água, que pode ser vista na Figura 1. Essa estrutura tem uma altura total de 44,29 cm, incluindo a parte eletrônica, dos quais 32,38 cm é a altura da seção sensível. O cilindro possui um raio externo de 13,3 cm, com uma cavidade central vazada de 7,5 cm de raio. O arranjo de diodos está dentro de um raio de 10,4 cm, em meio ao PMMA, como mostrado na Figura 2, uma representação de uma seção axial do ArcCHECK. Tal cavidade central é projetada para inserir diferentes acessórios, como um núcleo sólido homogêneo, bem como um núcleo com câmaras de ionização^{6,9}.

Figura 1 – Fotografia do ArcCHECK capturada durante medições.



Fonte: Os autores (2017).

Figura 2 – Representação das distâncias radiais em um corte axial do ArcCHECK.



Fonte: Os autores (2018).

Os diodos possuem, cada um, uma área sensível de 0,64 mm² e um volume de 0,019 mm³, o que os torna muito menores que uma câmara de ionização e, portanto, mais sensíveis e precisos⁹. Entre si, têm um espaçamento de 1 cm ao longo da altura cilíndrica e 1 cm ao longo da circunferência. O fato de estarem distribuídos helicoidalmente contribui para vantagem de não haver sombreamento de nenhum dos detectores entre si e, conseqüentemente, dos valores adquiridos^{6,9}.

O software SNC Patient™, associado ao ArcCHECK, é usado para executar correções nos valores medidos e é capaz de exibir resultados diferentes, incluindo contagens brutas, contagens corrigidas, matrizes da dose interpolada – as quais contêm valores interpolados com quase quatro vezes a quantidade de diodos que o sistema realmente possui –, entre outros. Para visualizar uma medição, é possível obter um mapa de cores associado às doses de acordo com o que se deseja ver. Este mapa é composto de 21x66 elementos, de tal forma que o software representa os valores de dose dos 1386 diodos da configuração helicoidal 3D em um mapa retangular com 66 colunas (66 diodos a cada volta) e 21 linhas (21 voltas)⁶. Os dados exibidos neste trabalho foram baseados nos valores de dose adquiridos diretamente pelos diodos, apresentados pelo ArcCHECK como um arquivo de saída.

2.2 Acelerador Linear (AL)

O acelerador linear Varian Unique – *Performance Edition* – foi utilizado para realizar todas as medidas experimentais deste trabalho. Ele é capaz de executar a técnica de VMAT, na qual geralmente se usa uma energia de 6 MeV para fótons e uma taxa de dose que varia de 100 a 600 unidades monitoras por minuto (UM/min). Esta edição carrega consigo Colimadores Multi-lâminas (MLC) de alta resolução e conformação, que mantêm baixo espalhamento durante o tratamento e é capaz de realizar interdigitação em técnicas com intensidade modulada¹⁰.

Neste trabalho, o feixe de fótons de 6 MeV foi usado para todas as medições e, inicialmente, o ArcCHECK foi posicionado no isocentro do equipamento, ou seja, a uma distância de 100 cm da fonte até o centro do dispositivo cilíndrico. Para facilitar o entendimento das aquisições, todas as irradiações foram feitas em modo estático do AL.

2.3 Medidas Experimentais

As medidas experimentais foram todas realizadas na radioterapia da Beneficência Portuguesa (BP) de São Paulo, a qual possui tanto o ArcCHECK quanto o AL Varian Unique.

Inicialmente, de forma a avaliar a repetibilidade do sistema, um campo de fótons de 10x10 cm² foi definido perpendicularmente ao ArcCHECK e, então, foi irradiado. Para verificar sua linearidade, a partir

de um campo fixo de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ e uma taxa de dose de 100 MU/min , a resposta de dois diodos centrais do sistema foi analisada para medidas com variados valores de dose – de 1 a 500 MU – e também diferentes valores de taxa de dose – de 100 a 600 UM/min –, com uma dose fixa de 100 MU .

Dessa forma, a fim de analisar a sensibilidade desse sistema dosimétrico em detectar pequenos erros, algumas análises foram feitas baseadas nas respostas do ArcCHECK frente a deslocamentos intencionais que eventualmente podem ocorrer durante um CQ na clínica. O primeiro deslocamento ocorreu no sentido positivo cranial, ou seja, no sentido longitudinal, em que a mesa de tratamento foi movida da referência 00 mm , onde o ArcCHECK estava centrado com o feixe de radiação, para a posição 12 mm , com passos de 1 mm a cada irradiação.

O segundo tipo de deslocamento foi no sentido negativo lateral, ou seja, no sentido lateral para a direita de um paciente que estaria na mesa de tratamento. Assim, fixada a referência de 00 mm lateral e deslocada em 5 mm cranial, o sistema foi movido lateralmente até 10 mm , com passos de 1 mm a cada irradiação, e até $11, 12, 14$ e 60 mm . Um deslocamento positivo de 5 mm foi feito também.

O terceiro deslocamento foi baseado na rotação negativa da mesa de tratamento. A referência em 00° de rotação e movido 5 mm cranial foi definida e a mesa foi rotacionada em $0,2^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ e 5° . Todos esses três tipos de deslocamento foram feitos com um campo fixo de $7 \times 7 \text{ cm}^2$ e todas as matrizes de dose resultantes foram normalizadas e comparadas com a referência definida para cada deslocamento, também normalizada, através da diferença dos mapas de dose.

Ainda, com o intuito de visualizar efeitos causados pela resolução dos diodos, observações foram feitas baseadas no teste *Rotisserie*³, que consiste em rotacionar o sistema dosimétrico axialmente e analisar a simetria de suas respostas com relação ao ângulo de incidência do feixe. Neste estudo, a fim de evitar erros relacionados a deslocamentos manuais, o ArcCHECK foi deixado em sua posição inicial e, então, o cabeçote do AL foi rotacionado em torno dele. Para este, irradiações foram feitas com um tamanho de campo pequeno de $1 \times 1 \text{ cm}^2$ e os dados foram adquiridos com o cabeçote nos ângulos $0^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ e 270° .

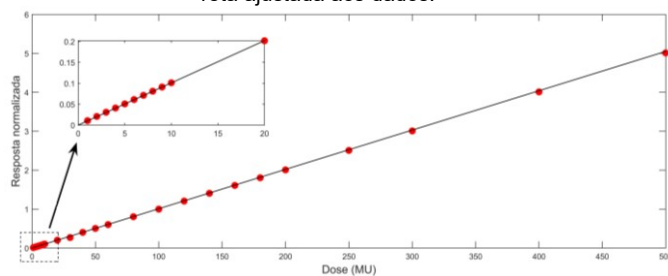
3. Resultados

3.1. Repetibilidade e Linearidade

Uma vez feitas as irradiações para testes de repetibilidade, a média dos mapas de dose obtidos e a incerteza relativa de cada diodo foram calculadas, sendo que o maior valor encontrado para esta foi de $1,4\%$ para determinado diodo. As respostas do sistema em função da dose administrada, normalizadas para a resposta de 100 MU , são mostradas na Figura 3 em forma de círculos vermelhos, juntamente com uma reta ajustada aos

dados medidos. Ainda, os dados das respostas do sistema dependentes da taxa de dose foram analisados e seguiram tão bem linearmente quanto os dados da Figura 3. Assim, todas as medidas seguintes citadas e/ou exibidas são, na realidade, a média de três medidas realizadas todas sob mesmas condições.

Figura 3 – Gráfico de respostas do ArcCHECK com a dose, em vermelho, campo $10 \times 10 \text{ cm}^2$ e 100 MU/min . A linha preta é uma reta ajustada aos dados.

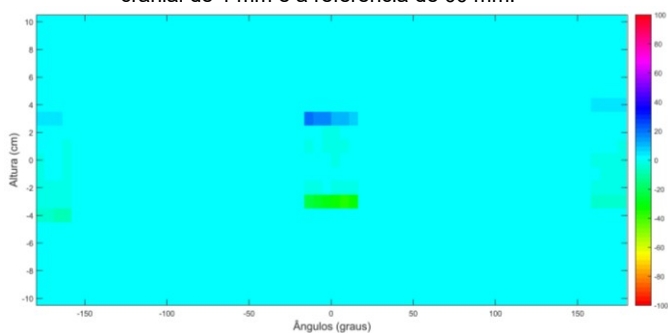


Fonte: Os autores (2019).

3.2. Análises de Deslocamento

Calculadas as diferenças entre os mapas de dose de cada medição com a referência escolhida, ambos normalizados, então os valores máximos e mínimos dessas diferenças foram extraídos e tabelados. Com relação ao deslocamento cranial, é possível visualizar o mapa da diferença entre o menor deslocamento estudado, de 1 mm , e a referência de 00 mm na Figura 4, um mapa de cores com 66 pontos em cada linha, representando cada volta helicoidal de diodos, e 21 pontos em cada coluna, representando as 21 voltas. Os valores extremos da diferença para todos os outros deslocamentos craniais podem ser observados na Tabela 1.

Figura 4 – Mapa de dose da diferença entre o deslocamento cranial de 1 mm e a referência de 00 mm .



Fonte: Os autores (2019).

Tabela 1 – Valores mínimos e máximos obtidos da diferença de dose entre as medidas com deslocamentos craniais e a referência em 00 mm .

Deslocamento cranial (mm)	Diff _{min} (%)	Diff _{máx} (%)
+1	-35,0	19,7
+2	-67,4	23,7
+3	Falhou	Falhou
+4	-100,0	25,9
+5	-100,0	26,6
+6	-100,0	26,9
+7	-100,0	26,9

+8	-100,0	27,0
+9	-100,0	27,0
+10	-100,0	27,1
+11	-100,0	27,0
+12	-100,0	27,3

Fonte: Os autores (2019).

Os valores máximos e mínimos obtidos com as diferenças entre os deslocamentos laterais e a referência de 00 mm lateral e movido 5 mm cranial são mostrados na Tabela 2. E, na Tabela 3, estão os valores das diferenças entre cada irradiação feita com um grau de rotação da mesa de tratamento contendo o ArcCHECK e a referência fixada em 5 mm cranial.

Tabela 2 – Valores mínimos e máximos obtidos da diferença de dose entre as medidas com deslocamentos laterais e a referência em 00 mm lateral e 5 mm cranial.

Deslocamento lateral (mm)	Diff _{min} (%)	Diff _{máx} (%)
+5	-100,0	5,3
-1	-100,0	3,9
-2	-100,0	4,0
-3	-100,0	3,6
-4	-100,0	4,3
-5	-100,0	4,6
-6	-100,0	5,1
-7	-100,0	5,5
-8	-100,0	5,8
-9	-100,0	5,8
-10	-100,0	6,2
-11	-100,0	6,7
-12	-100,0	6,7
-14	-100,0	7,4
-60	-100,0	11,1

Fonte: Os autores (2019).

Tabela 3 – Valores mínimos e máximos obtidos da diferença de dose entre as medidas com deslocamentos na rotação da mesa e a referência em 00 mm lateral e 5 mm cranial.

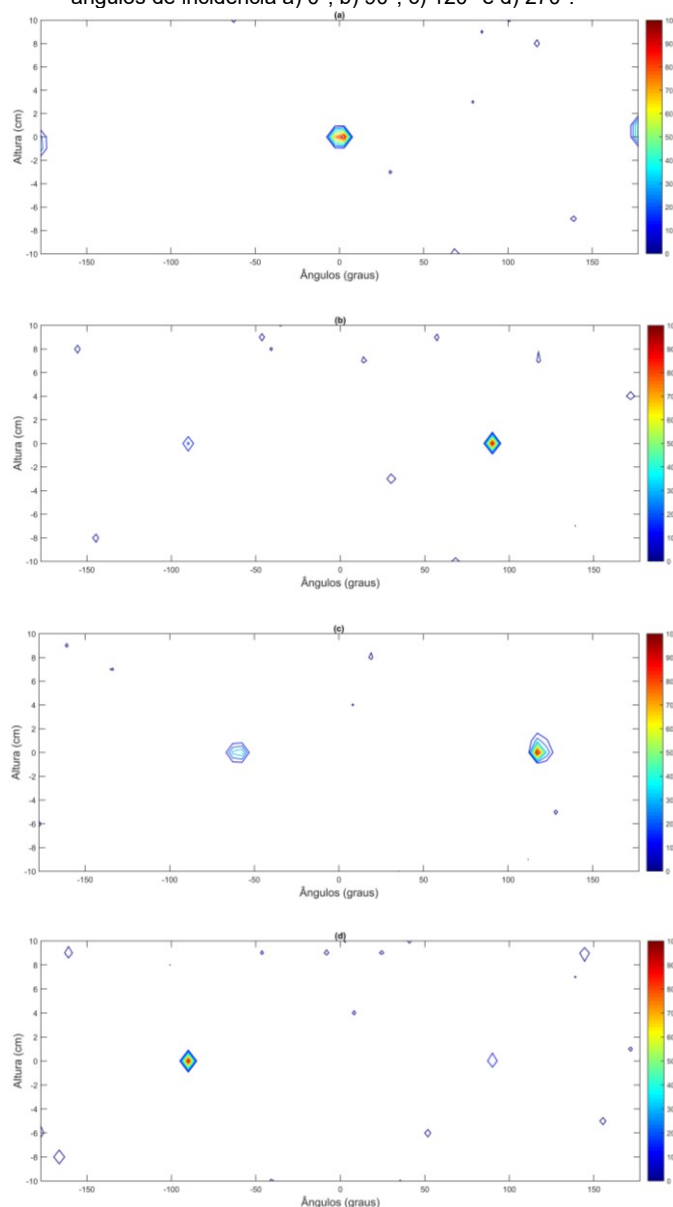
Rotação da mesa (graus)	Diff _{min} (%)	Diff _{máx} (%)
-0.2	-100,0	4,7
-1	-100,0	17,4
-2	-100,0	54,8
-3	-100,0	102,3
-5	-100,0	309,0

Fonte: Os autores (2019).

3.3. Teste Rotisserie

As curvas de isodose obtidas ao incidir um campo de 1x1 cm² no isocentro do ArcCHECK, com os ângulos do cabeçote em 0°, 90°, 120° e 270°, são mostradas na Figura 5-a, b, c e d, respectivamente.

Figura 5 – Curvas de isodose do teste *Rotisserie*, para os ângulos de incidência a) 0°, b) 90°, c) 120° e d) 270°.



Fonte: Os autores (2019).

4. Discussão

4.1. Repetibilidade e Linearidade

As análises dos dados do ArcCHECK demonstraram este ser um dispositivo bastante repetível, assim como as respostas do sistema com relação à dose (Figura 3) e à taxa de dose também mostraram seguir um padrão muito linear.

4.2. Análises de Deslocamento

O mapa da Figura 4 permite uma melhor visualização do movimento que foi realizado na direção longitudinal, de forma que a dose do campo de entrada, no centro da imagem, migrou para uma posição abaixo da posição de referência, bem como a dose do campo que sai do ArcCHECK, nos cantos direito e esquerdo da imagem. Desse deslocamento

mínimo de 1 mm, é possível inferir que foi o suficiente para o sistema dosimétrico detectar uma diferença de até 35% na dose (Tabela 1). Para o deslocamento de 3 mm, alguma falha no sistema fez com que as matrizes de dose para essa medição não fossem geradas na saída.

Na Tabela 2, é possível verificar que o ArcCHECK foi capaz de identificar diferenças de até 4% no mapa de dose, com um deslocamento lateral de apenas 1 mm. Assim como, da Tabela 3, é possível inferir que poucos graus da mesa de tratamento rotacionados aumentam consideravelmente a diferença na dose administrada.

4.3. Teste Rotisserie

Ao realizar medições com um campo incidente de $1 \times 1 \text{ cm}^2$, foi possível observar quando o feixe sensibiliza um ou mais diodos, uma vez que 1 cm é a resolução dos diodos. Na Figura 5, deformações nas curvas de isodose podem ser vistas, principalmente para os ângulos de 0° (5-a) e 120° (5-c). Isso ocorre pelo fato de que essa são regiões angulares do ArcCHECK divididas entre duas linhas de diodos, causando artefatos que evidenciam a assimetria desse sistema. As deformações já não são observadas para os ângulos 90° (5-b) e 270° (5-d), regiões estas que possuem uma linha longitudinal de diodos, tornando a detecção mais pontual e curvas de isodose mais conformadas e de formatos esperados.

5. Conclusões

Pode-se concluir que o ArcCHECK é um sistema bastante repetível, linear e sensível com relação a suas respostas. Considerando a metodologia de análise neste estudo, este foi capaz de identificar diferenças consideráveis na distribuição de dose final ao se realizar pequenos deslocamentos em variadas direções. Entretanto, deve-se ter certa cautela ao posicioná-lo para realizar Controle de Qualidade, de forma a obter resultados mais precisos possíveis.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Beneficência Portuguesa de São Paulo e ao InRad (HCFMUSP) pela parceria e ao CNPq pelo financiamento.

Referências

1. Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Medical physics*. 2008; 35(1): 310-317.
2. Furnari L. Controle de qualidade em radioterapia. *Revista Brasileira de Física Médica*. 2009; 3(1): 77-90.
3. Feygelman V, Zhang G, Stevens C, Nelms BE. Evaluation of a new VMAT QA device, or the "X" and "O" array geometries. *Journal of applied clinical medical physics*. 2011; 12(2):146-168.
4. Arumugam S, Xing A, Young T, Holloway L. Sensitivity of a helical diode array dosimeter to Volumetric Modulated Arc Therapy delivery errors. *Physica Medica*, 2015; 31(8): 1043-1054.

5. Templeton AK, Chu JCH, Turian JV. The sensitivity of ArcCHECK-based gamma analysis to manufactured errors in helical tomotherapy radiation delivery. *Journal of applied clinical medical physics*. 2015; 16(1): 32-39.
6. Sun Nuclear Corporation. ArcCHECK Reference Guide: The Ultimate 4D QA Solution. Sun Nuclear Corporation, 2012. Melbourne: 2012.
7. 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. *Journal of applied clinical medical physics*. 2014; 15(4): 212-225.
8. 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.
9. Sun Nuclear Corporation. Benefits Analysis: SunPoint Diode Detectors. SunPoint Precision QA, Sun Nuclear Corporation, 2011. Melbourne: 2011.
10. Varian Medical Systems. Unique Specifications – The Complete Radiation Oncology Solution. Varian Medical Systems International AG, 2016. Cham: 2016.

Contato:

Nome do Autor Correspondente: Amanda Cristina Mazer

Afiliação: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)

Endereço completo para correspondência: Av. Lineu Prestes, 2242. Cidade Universitária, São Paulo - SP. CEP 05508-000.

E-mail: amandamazer@usp.br