

# Verificação tridimensional pré-tratamento de radioterapia de intensidade modulada utilizando o software 3DVH™

## Three-dimensional pre-treatment verification for intensity modulated radiotherapy using the 3DVH™ software

Laís P. Martins, Thiago B. Silveira, Paulo L. Garcia, Cássia Trindade, Maíra R. Santos e Delano V. S. Batista

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

### Resumo

O controle de qualidade (CQ) para IMRT é normalmente avaliado pontual ou bidimensionalmente. Uma das dificuldades desse procedimento é julgar o impacto clínico do resultado do CQ no tratamento. O software 3DVH™ é uma ferramenta que fornece uma distribuição 3D de dose medida, permitindo análises de órgãos de risco e volumes alvo no DVH. O objetivo deste trabalho é validar e implementar clinicamente o software 3DVH™ para tratamentos de IMRT e verificar quais suas vantagens em relação ao CQ 2D. Esse software utiliza dois grupos de dados para gerar a distribuição de dose: um proveniente do Sistema de Planejamento e outro proveniente da irradiação para CQ 2D tradicional, medido com o MapCHECK (Sun Nuclear) (MC). Para a validação do software foi utilizada uma câmara de ionização de volume pequeno para avaliar se a dose apresentada pelo 3DVH™ foi equivalente àquela medida. Para a análise de CQ, foram selecionados dez casos de IMRT planejados no Eclipse 8.6 (Varian), tratados no Instituto Nacional de Câncer (INCA). Para todos os casos, foram criados planos de verificação irradiados no MC e as análises foram feitas através do índice gama. Dos dez casos analisados, cinco DVHs de comparação entre os arquivos planejado e medido apresentaram um desvio menor que 4% da dose prescrita na cobertura de 95% do PTV e do GTV. Os outros casos apresentaram diferenças maiores que 4%, vistas em áreas onde o movimento de lâminas do MLC foi mais complexo, com mais órgãos de risco nas proximidades. O software 3DVH™ adiciona grandes vantagens clínicas ao CQ de IMRT, permitindo uma análise mais refinada dos casos avaliados, quando comparado ao CQ bidimensional convencional.

**Palavras-chave:** radioterapia, controle de qualidade, radioterapia de intensidade modulada, radioterapia assistida por computador, dosimetria.

### Abstract

The IMRT quality assurance is normally analyzed punctual or bi-dimensionally. One difficult of this procedure is to evaluate the clinical impact of the QA result on treatment. The 3DVH™ software gives a 3D measured dose distribution, providing DVH analysis for organs at risk and target volumes. The aim of this work is to validate and implement the software 3DVH™ for IMRT treatments and to verify advantages over the QA 2D. The software uses two groups of data to generate the dose distribution: one from the treatment planning system and another from the irradiation for traditional QA 2D, measured with MapCHECK (Sun Nuclear) (MC). To validate the software, a small volume ionization chamber was used to check if both calculated 3DVH™ dose and measured dose by the chamber were equivalent. For QA analysis, ten IMRT cases planned in Eclipse 8.6 (Varian) and treated in Instituto Nacional de Câncer (INCA) were selected. For all cases, verification plans were created and irradiated in MC, and the analysis were made using the gamma index. Among the cases, five DVH comparisons between planned and measured data presented a deviation lower than 4% of the prescribed dose in 95% of the PTV and GTV's coverage. Other cases showed differences larger than 4%, presented in areas where the movements of the MLC leaves were more complex, mostly in the neighborhood of organs at risk. The 3DVH™ software provides several clinical advantages to IMRT QA, generating refined analysis of the cases evaluated, in comparison to conventional QA 2D.

**Keywords:** radiotherapy, quality control, radiotherapy, intensity-modulated, computer-assisted radiotherapy, dosimetry.

## Introdução

A técnica de radioterapia de intensidade modulada (IMRT) é amplamente difundida por proporcionar aumento do controle local do tumor e decréscimo da dose em órgãos de risco. Para o tratamento com IMRT, é necessário um programa de controle de qualidade (CQ) específico para garantir que a distribuição de dose entregue durante o tratamento seja igual àquela calculada pelo sistema de planejamento (TPS).

Tipicamente, o processo de CQ consiste em verificar a entrega de dose absoluta em um ponto de referência e/ou verificar a distribuição relativa da dose em um plano. Este último pode ser realizado de forma integrada ou individual. A medida integrada mostra a composição da distribuição de dose de todo os campos em um determinado plano do fantoma irradiado e é uma técnica mais rápida de CQ. Na análise dos feixes individuais, a distribuição da dose é medida em um plano perpendicular ao eixo central de cada campo e, apesar de não ser a forma mais rápida, permite um maior entendimento das fontes de erro no planejamento e no processo de entrega da dose<sup>1,2</sup>.

Diversos tipos de dosímetros podem ser utilizados para a realização do CQ de IMRT. Os mais comuns são as câmaras de ionização, filmes radiográficos e radiocrômicos, matrizes de detectores portáteis e *Electronic Portal Imaging Devices* (EPIDs)<sup>3</sup>.

Uma das dificuldades da verificação pré-tratamento é analisar qual impacto clínico do resultado do CQ no tratamento<sup>4</sup>. Metodologias de análise de CQ tridimensional via histograma dose-volume (DVH) presentes na literatura são baseadas em reconstrução de dose transmitida pelo paciente<sup>5</sup> ou de dose mensurada durante verificação pré-tratamento<sup>4,6</sup>. O *software* 3DVH<sup>TM</sup> utiliza esta última metodologia e é uma ferramenta que permite a análise pré-tratamento reconstruída na tomografia do paciente.

O objetivo deste trabalho é validar e implementar clinicamente o *software* 3DVH<sup>TM</sup> para tratamentos de IMRT avaliando suas vantagens em relação ao CQ planar.

## Material e Métodos

### Software 3DVH<sup>TM</sup>

O *software* 3DVH<sup>TM</sup> utiliza dois grupos de dados para gerar a distribuição de dose: um proveniente do TPS, que inclui arquivos DICOM de estruturas, dose, planejamento e tomografia (CT); e outro proveniente da irradiação para CQ bidimensional tradicional, medido com a matriz de diodos MapCHECK<sup>TM</sup> (Sun Nuclear, Melbourne, FL) (MC). A comparação bidimensional é realizada no programa SNCPatient (Sun Nuclear, Melbourne, FL) e as diferenças de dose encontradas entre as distribuições provenientes do TPS e as matrizes medidas diretamente no acelerador são registradas em um arquivo específico. O 3DVH<sup>TM</sup> modifica a distribuição de dose volumétrica

original do TPS utilizando o algoritmo *Planned Dose Perturbation* (PDP) e o arquivo gerado no SNCPatient. Tal algoritmo requer dados de entrada de dose com alta resolução espacial, o que não ocorre com os dados adquiridos pelo MC. Para isso, foi desenvolvido um método chamado *Smarterpolation*, que interpola a distribuição planar do MC com base no gradiente de dose observado nos pontos correspondentes dos arquivos do TPS, gerando uma distribuição com resolução espacial milimétrica. Ao final do processo, o *software* fornece uma distribuição tridimensional de dose e um DVH correspondente à irradiação do CQ, além de análise de índice gama 3D ou referente a cada estrutura.

### MapCHECK<sup>TM</sup>

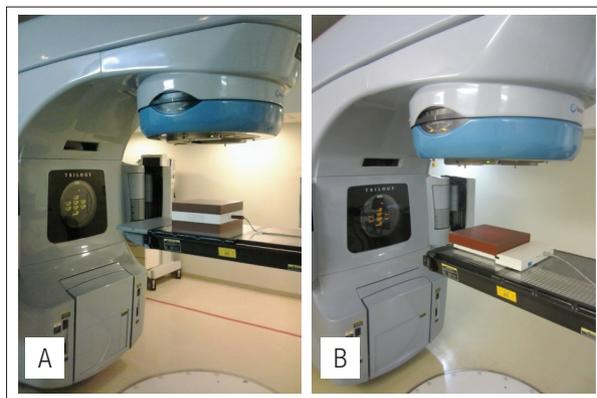
O dispositivo consiste de 445 diodos tipo N numa área total de 22x22 cm<sup>2</sup>, com espaçamento variável entre os mesmos. A porção central, de 10x10 cm<sup>2</sup>, contém 221 diodos com 7 mm de espaçamento, enquanto a área ao redor contém 224 diodos com 14 mm de espaçamento máximo. A resolução espacial de cada diodo é de 0,8x0,8 mm<sup>2</sup>.

### Validação do 3DVH<sup>TM</sup>

Seis planos de IMRT *sliding window* foram gerados e irradiados num fantoma de água sólida 30x30x15 cm<sup>3</sup>. Na irradiação, uma câmara de ionização modelo IC-15 foi colocada no eixo central do fantoma, a 7,5 cm de profundidade (Figura 1A). O fator de conversão de leitura para dose absoluta da câmara foi definido a partir de dose conhecida específica para cada energia de fótons.

Os mesmos planos foram irradiados no MapCHECK<sup>TM</sup>, com 5 cm de *build-up* adicional, para adquirir a distribuição planar, usada para gerar o arquivo PDP.

Verifica-se, então, se a dose média no volume sensível da câmara, fornecida pelo 3DVH<sup>TM</sup>, foi equivalente à leitura da câmara. Para adquirir a dose média, o volume sensível da câmara foi desenhado como uma estrutura na tomografia do fantoma no TPS e exportada para o 3DVH<sup>TM</sup>.



**Figura 1.** (A) Arranjo experimental para validação do 3DVH<sup>TM</sup> com câmara de ionização IC-15; (B) Arranjo experimental para CQ utilizando MapCHECK<sup>TM</sup> e *build-up* adicional de 5 cm.

## Análise de CQs

Foram escolhidos dez casos de IMRT planejados no TPS Eclipse versão 8.6 (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) e tratados no acelerador linear Trilogy, utilizando um colimador multilâminas modelo Millennium120, do Instituto Nacional de Câncer (INCA). A verificação pré-tratamento planar de todos os casos foi feita utilizando o MapCHECK™, com *build-up* adicional de 5 cm de água sólida, distância fonte-detectores de 100 cm (Figura 1B). Optou-se, ao gerar o plano de verificação no TPS, por manter colimador, gantry e mesa zerados.

Os planos foram divididos por sítio anatômico em crânio (Crânio1, 2, 3 e 4), cabeça e pescoço (CP1, 2 e 3) e próstata (Prost1, 2 e 3); sendo as próstatas Prost1 e Prost2 com 10 MV e o restante com 6 MV. Seis planos foram calculados usando o algoritmo PBC (8.6.15) e quatro planos com AAA (8.6.15 ou 8.9.17) com correção de heterogeneidade.

O MC foi irradiado previamente com dose conhecida específica, para cada energia de fótons, estabelecendo, assim, um fator de correção independente da variação no fator de calibração do feixe. Os arquivos DICOM de dose, estruturas, plano e CT de cada caso foram exportados do TPS e, a partir dos arquivos irradiados, foram gerados os arquivos PDP necessários para o 3DVH™, conforme descrito na seção *Software 3DVH™*.

Tanto a análise da distribuição de dose tridimensional no 3DVH™ quanto a análise bidimensional no SNCPatient, foram feitas através do índice gama<sup>7</sup> com parâmetros de 3% de tolerância de dose (em relação à dose máxima) e 3 mm de distância para aceitação, avaliando doses acima de 20%.

## Resultados

### Validação do 3DVH™

Os dados medidos para a validação do 3DVH™ estão descritos na Tabela 1, apresentando as leituras da câmara de ionização convertidas para dose absoluta, os valores encontrados no mesmo ponto no 3DVH™ e o desvio entre elas.

O desvio médio para todos os planos foi de 2,6%, enquanto o máximo foi de -3,6% no Plano1. Como todos os desvios estão abaixo de 4%, este será o desvio limite aceito para a avaliação dos CQs de IMRT.

**Tabela 1.** Valores adquiridos para a validação do 3DVH™.

Plano	Medido (cGy)	3DVH™ (cGy)	Desvio(%)
Plano1	155,4	149,8	-3,6
Plano2	159,3	162,7	2,1
Plano3	229,8	222,3	-3,3
Plano4	224,5	217,9	-2,9
Plano5	188,2	182,5	-3,0
Plano6	244,2	245,1	0,4

## Análise de CQs

A análise dos resultados das distribuições 2D e 3D foram feitas através do índice gama. O índice gama 2D apresentado se refere à média de todos os campos calculados no SNCPatient. Para a comparação entre a distribuição de dose gerada pelo TPS e aquela calculada pelo 3DVH a partir da irradiação, os parâmetros selecionados foram a dose de cobertura de 95% do PTV e do GTV. Tais valores estão apresentados na Tabela 2 para todos os casos.

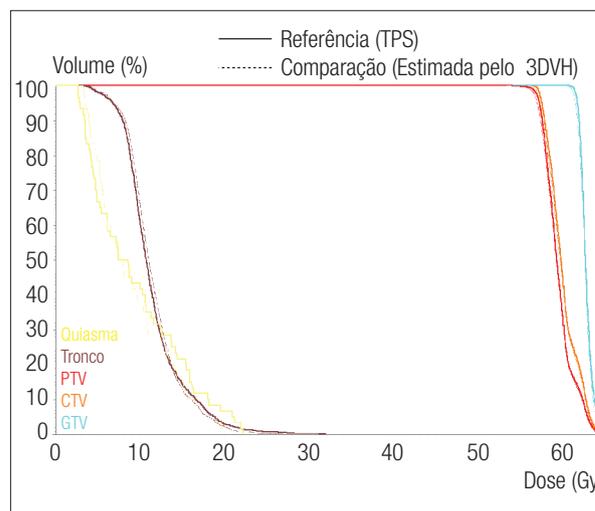
Os casos Crânio2 (Figura 2), Crânio3, CP2, CP3 e Prost2 apresentaram índice gama 2D e 3D aceitáveis (>95%) e condizentes com a distribuição verificada no DVH, onde as diferenças nas coberturas de 95% do PTV e do GTV entre a distribuição planejada e medida foram menores que 4%.

Os casos Crânio1 e Prost1 apresentaram diferenças maiores que 4% na cobertura de PTV e de GTV. Os valores de índice gama não evidenciaram tal desvio, porém, ambos

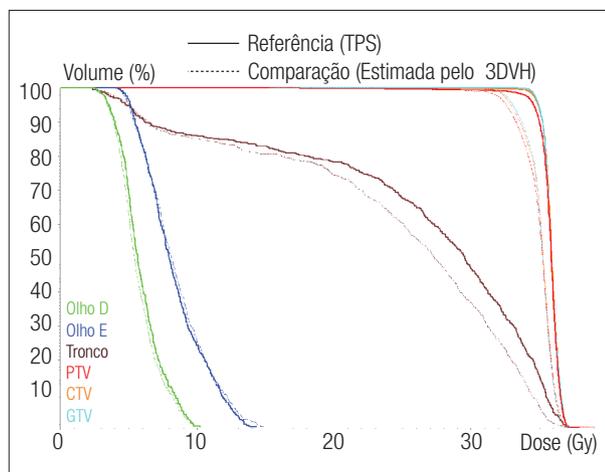
**Tabela 2.** Resultados.

	$\gamma_{3D}$ (%)	$\gamma_{2D}$ (%) (SD)	Diferença* (%)	
			PTV <sub>95%</sub>	GTV <sub>95%</sub>
Crânio1	98,2	95,4 (5,38)	-4,34	-2,03
Crânio2	99,9	99,7 (0,35)	-0,49	-0,39
Crânio3	99,9	96,3 (2,73)	0,29	0,16
Crânio4	97,3	95,7 (2,08)	-5,81	-5,34
CP1	95,1	98,9 (0,97)	-6,11/ -3,93/-2,94 **	***
CP2	95,1	96,8 (2,26)	-3,78	3,25
CP3	97,7	97,5 (1,42)	-2,87	-1,41
Prost1	97,5	96,4 (5,27)	-5,45	-5,26
Prost2	99,8	99,7 (0,47)	-1,00	***
Prost3	92,9	97,3 (2,03)	-6,01	***

\*Percentual de diferença de dose em relação à dose planejada; \*\*Plano com três PTVs com prescrições diferentes, sendo o de diferença igual a -6,11% referente ao PTV de menor prescrição e o de diferença igual a -2,94% referente ao de maior prescrição; \*\*\*Planos sem a estrutura GTV, tendo sido programados levando em consideração apenas CTV e PTV.



**Figura 2.** Histograma dose-volume (DVH) do Crânio2, mostrando curvas de dose do quiasma, tronco, volume de planejamento do alvo (PTV), volume clínico do alvo (CTV) e volume de tumor visível (GTV), com boa concordância entre o medido e o calculado.



**Figura 3.** Histograma dose-volume (DVH) do Crânio4, mostrando curvas de dose dos olhos, tronco, volume de planejamento do alvo (PTV), volume clínico do alvo (CTV) e volume de tumor visível (GTV), com subdosagem nos alvos.

os casos apresentaram um campo com índice gama 2D menor que 90,0%: 83,9% no Crânio1 e 84,7% no Prost1.

O caso CP1, com três prescrições de dose, apresentou uma subdosagem de 6,11% no PTV de menor prescrição, o que não foi demonstrado pelo índice gama. Isso pode ser explicado devido ao fato de que a avaliação gama foi a partir da dose absoluta e global, que passa a ser mais permissiva para doses mais baixas.

Por fim, os casos Crânio4 (Figura 3) e Prost3 foram aprovados pelo índice gama, mas apresentaram desvios maiores que 4% nas coberturas de PTV e GTV, podendo ser considerados exemplos de falso-positivos da verificação bidimensional.

Todos os órgãos de risco analisados apresentaram boa concordância entre a distribuição 3D planejada e medida, com algumas subdosagens favoráveis ao tratamento. A única exceção foi o Crânio3, que apresentou um aumento na dose recebida em 1% do volume do tronco e do quiasma, de 2,44% e 1,58%, respectivamente. Mesmo com essa sobre-dosagem, tanto o quiasma como o tronco se mantiveram dentro dos limites de dose sugeridos pelo Marks et al.<sup>8</sup>: dose máxima de 55 Gy, baixo risco para o quiasma, e dose em 1-10 cm<sup>3</sup> de 59 Gy para o tronco, com baixo risco.

## Discussão e Conclusões

### Validação do 3DVH™

Os desvios apresentados entre a leitura da câmara de ionização e a dose fornecida pelo 3DVH™ foram todos inferiores a 4%. Este valor foi adotado como referência para a comparação dos DVHs dos pacientes durante a análise dos controles de qualidade. Tal desvio médio foi suficiente para o objetivo deste trabalho, porém, para a implementação completa do software no serviço é necessário realizar mais medições com a câmara de ionização. Assim, aprimora-se a análise estatística e, como consequência, refina-se o percentual considerado como parâmetro de análise.

### Análise de CQs

Com uma análise geral dos casos, não houve correlação evidente entre os resultados obtidos e o algoritmo de cálculo utilizado, a energia ou o sítio do tratamento.

A diferença média na cobertura de 95% do PTV foi de -3,6%, com subdosagem em praticamente todos os casos, corroborando com Carrasco et al.<sup>4</sup> que mostrou, em estudo semelhante, que a cobertura do alvo medida e avaliada no 3DVH™ foi sistematicamente menor que a cobertura atingida no TPS.

Os casos onde houve pelo menos um campo com reprovação do índice gama 2D (<90%) mostrou que esse valor pode ter refletido na distribuição de dose 3D, como foi o caso de Crânio1 e Prost1.

Já nos casos onde a diferença na cobertura do PTV e do GTV foi maior que 4% e que essa diferença não foi refletida no índice gama 2D (Crânio4 e Prost3), provavelmente as regiões reprovadas de cada campo, contribuíram para uma mesma região quando analisadas tridimensionalmente.

Na maioria dos casos onde a subdosagem do PTV e GTV foi maior que 4%, as regiões subdosadas foram vistas em áreas onde o planejamento de IMRT foi mais complexo, que é o caso de Crânio4, onde o GTV está muito próximo dos órgãos de risco; CP1 e Prost1, com mais de uma prescrição de dose; e Crânio1, onde o GTV é muito superficializado.

A análise 2D convencional é uma boa ferramenta para verificar alterações significativas entre as distribuições de dose planejada e medida. Porém, com a avaliação dessas distribuições através do software 3DVH™, grandes vantagens são acrescentadas ao CQ de IMRT, pois ela permite que haja uma avaliação mais refinada e completa, incluindo uma análise clínica relevante.

## Referências

1. Létourneau D, Gulam M, Yan D, Oldham M, Wong JW. Evaluation of a 2D diode array for IMRT quality assurance. *Radiother Oncol.* 2004;70(2):199-206.
2. Jursinic PA, Nelms BE. A 2-D diode array and analysis software for verification of intensity modulated radiation therapy delivery. *Med Phys.* 2003;30(5):870-9.
3. Low DA, Moran JM, Dempsey JF, Dong L, Oldham M. Dosimetry tools and techniques for IMRT. *Med Phys.* 2011;38(3):1313-38.
4. Carrasco P, Jornet N, Latorre A, Eudaldo T, Ruiz A, Ribas M. 3DVH-based metric analysis versus per-beam planar analysis in IMRT pretreatment verification. *Med Phys.* 2012;39(8):5040-9.
5. van Elmpt W, McDermott L, Nijsten S, Wendling M, Lambin P, Mijnheer B. A literature review of electronic portal imaging for radiotherapy dosimetry. *Radiother Oncol.* 2008;88(3):289-309.
6. van Elmpt W, Nijsten S, Mijnheer B, Dekker A, Lambin P. The next step in patient-specific QA: 3D dose verification of conformal and intensity-modulated RT based on EPID dosimetry and Monte Carlo dose calculations. *Radiother Oncol.* 2008;86(1):86-92.
7. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys.* 1998;25(5):656-61.
8. Marks LB, Yorke ED, Jackson A, Ten Haken RK, Constine LS, Eisbruch A, et al. Use of normal tissue complication probability models in clinic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2010;76(3Supplement):S10-9.