

Radioterapia Lattice: Um Estudo Comparativo de Viabilidade da técnica IMRT com a VMAT

Lattice Radiotherapy: A Comparative Feasibility Study of IMRT with VMAT

Gomes, J. S. S.¹, Xavier Filho, J. M.¹, Fontana, J. M.¹, Santos, M. R.¹, Botelho, M. A.¹

¹Instituto Nacional de Câncer-INCA/Departamento de Física, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo

O estudo comparativo incluiu dez casos de neoplasias planejados com IMRT, contrastados com planejamentos com VMAT, em estudo prévio na instituição. A técnica Lattice de Radioterapia Espacialmente Fracionada foi utilizada na fração inicial, com prescrição de 5 Gy no volume alvo e 14 Gy nas esferas dispostas dentro do GTV, seguida de quatro frações adicionais de 5 Gy homogêneas no alvo. O estudo revelou maior dificuldade na conformação da dose prescrita nos picos, evidenciada pela variação no índice de conformidade, com média de $1,85 \pm 0,27$ para IMRT e $1,19 \pm 0,24$ para VMAT. A análise apontou uma discrepância de +4,1% na dose média nos picos e uma razão de 3,7 nos MUs. Apesar de ambos atenderem aos critérios de qualidade na avaliação gama, o tempo de feixe ativo no IMRT foi 3,6 vezes maior que no VMAT. A análise das doses em OARs sugere equivalência entre as abordagens. A técnica VMAT é preferível, por permitir um menor tempo de tratamento e um número reduzido de MUs. No entanto, na ausência da técnica VMAT, a IMRT é uma alternativa viável para a aplicação da técnica Lattice. A utilização da técnica Lattice deve considerar as necessidades clínicas, a eficácia do tratamento e a disponibilidade da tecnologia. O aumento de MU e tempo de feixe ativo foram as principais limitações do IMRT, mas sua eficácia na preservação de órgãos críticos foi destacada, reforçando a segurança e personalização do tratamento radioterápico com IMRT na aplicação da técnica Lattice.

Palavras-chave: Lattice; Radioterapia; VMAT; IMRT; SFRT.

Abstract

The comparative study included ten neoplasia cases planned with IMRT, contrasted with VMAT plans previously studied in the institution. The Lattice Spatially Fractionated Radiation Therapy technique was applied in the initial fraction, prescribing 5 Gy to the target volume and 14 Gy to spheres within the GTV, followed by four additional fractions of 5 Gy homogeneous in the target. The study revealed greater difficulty in conforming the prescribed dose to peaks, evidenced by the conformity index variation, averaging 1.85 ± 0.27 for IMRT and 1.19 ± 0.24 for VMAT. The analysis indicated a +4.1% discrepancy in the average dose at peaks and a 3.7 ratio in MUs. Although both met quality criteria in gamma evaluation, IMRT's beam-on time was 3.6 times longer than VMAT. The analysis of OAR doses suggests comparability between approaches. The VMAT technique is preferred as it allows for shorter treatment times and a reduced number of MUs. However, in the absence of the VMAT technique, IMRT is a viable alternative for the application of the Lattice technique. The use of the Lattice technique should take into account clinical needs, treatment efficacy, and technology availability. The increase in MUs and beam-on time were IMRT's main limitations, but its efficacy in preserving critical organs was highlighted, reinforcing the safety and personalization of radiotherapeutic treatment with IMRT in the application of the Lattice technique

Keywords: Lattice; Radiotherapy; VMAT; IMRT; SFRT

1. Introdução

A técnica de Radioterapia Espacialmente Fracionada, também conhecida pela sigla em inglês (SFRT, *Spatially Fractionated Radiation Therapy*), consiste em fracionar o volume de tratamento em subvolumes. O objetivo é tornar a entrega de doses altas intencionalmente heterogênea no volume-alvo, evitando a interceptação de órgãos críticos, enquanto mantém a dose global do alvo em um valor tolerável pelos tecidos adjacentes. Várias técnicas baseadas no método SFRT foram desenvolvidas com o intuito de atingir um melhor controle tumoral com diminuição de toxicidade aos tecidos normais, como: *Grid*, *Lattice Radiation Therapy* (LRT) e *Microbeam Radiation Therapy* (MRT) (1).

A terapia *Grid* (grade) foi o primeiro tipo de SFRT, introduzida em 1950 e desenvolvida para atingir alguns objetivos, como, por exemplo: minimizar os danos aos tecidos saudáveis, como a pele, e entregar

doses paliativas eficazes a tumores volumosos utilizando raios X de ortovoltagem. A técnica envolve a utilização de uma fluência de radiação em padrão de grade, originalmente obtida por meio de um bloco de material atenuador com aberturas circulares ou quadradas, dispostas em uma geometria matricial. Conforme a convenção estabelecida na ortovoltagem com *Grid*, a técnica utilizava a abertura das grades sendo visualizadas como picos e as separações como vales, com aproximadamente 1 cm de tamanho (1).

Com o surgimento, na década de 50, de equipamentos para tratamento radioterápico utilizando feixes de fótons de megavoltagem, possibilitou-se o aumento das doses nos alvos com menos toxicidade, e a técnica tornou-se menos relevante para aplicações clínicas. Na década de 90, com a modernização da radioterapia, muitos aceleradores lineares foram equipados com colimadores multi-lâminas (MLC, *multi-leaf collimator*)

e técnicas de intensidade modulada, permitindo a entrega de diferentes níveis de dose em um único tratamento. Além disso, alguns aceleradores modernos são equipados com detectores eletrônicos de imagem de portal (EPID, *Electronic Portal Imaging Device*) e OBI (*On-Board Imager*) que melhoram a conformidade entre a dose planejada e a entregue no tratamento, devido ao aumento da exatidão no posicionamento do paciente (2).

O efeito abscopal induzido por radiação refere-se à regressão tumoral em lesões distantes do local alvo, induzida pela radioterapia. O termo deriva do latim “ab scopo”, que significa longe do alvo. A combinação da radioterapia com inibidores de checkpoints imunológicos aumenta a probabilidade de ocorrer o efeito abscopal, evidenciando o papel ativo do sistema imunológico. Apesar dos mecanismos precisos pelos quais a radioterapia exerce seu efeito imunomodulador ainda não serem completamente compreendidos, a indução de morte celular imunogênica, na qual as células tumorais em morte liberam antígenos associados ao tumor que estimulam a imunidade antitumoral, parece desempenhar um papel crucial (3).

O efeito *bystander* (espectador) ocorre em células próximas ao alvo que não são diretamente irradiadas, mas são expostas a baixos níveis de radiação espalhada, e que sofrem danos ou morte celular programada. Adicionalmente, as altas doses em poucas sessões provocam danos nas células tumorais induzidos por radiação com a produção de antígenos tumorais e produtos moleculares com ativação secundária de células apresentadoras de antígenos e linfócitos T(4).

A técnica *Lattice*, proposta em 2010 (5), utiliza o conceito de picos e vales da técnica *Grid* com a melhoria de aplicabilidade em três dimensões, onde os picos estão distribuídos no volume grosseiro do tumor (GTV, do inglês *Gross Tumor Volume*), em vértices de uma rede ou matriz 3D. Já os vales, são as regiões entre os picos prescritos com uma dose hipofracionada, porém não ablativa, gerando um perfil de dose com a característica de picos e vales. As altas doses da técnica *Lattice* estimulam alguns mecanismos no microambiente tumoral que permitem a ativação dos efeitos abscopal, espectador e imunológico, cuja elevada taxa de apoptose é benéfico na destruição dos tumores volumosos (6,7). Estudos mostraram reduções do tumor de 50% e 70%, sem nenhuma toxicidade adicional (8,9).

A técnica *Lattice* permite a administração de doses elevadas de radiação em várias áreas metabólicas do tumor, incluindo regiões hipóxicas e microambientes tumorais. Essa abordagem visa atenuar o crescimento não homogêneo do tumor, proporcionando uma maior eficácia na superação da radio resistência. Com essa precisão de regiões pré-determinadas utilizando doses ablativas, a técnica *Lattice* representa um avanço significativo na abordagem terapêutica utilizando radioterapia em pacientes paliativos (4).

A técnica LRT pode ser administrada utilizando feixes de fótons com técnicas moduladas, como a

radioterapia de intensidade modulada (IMRT, *Intensity-Modulated Radiation Therapy*) e a terapia de arco modulado volumétrico (VMAT, *Volumetric Modulated Arc Therapy*), feixes convergentes acionados por robôs ou feixes de partículas carregadas (1).

A técnica IMRT utiliza múltiplos feixes de radiação com direção estática e intensidade modulada. Na técnica VMAT, o aparelho de radioterapia gira em torno do paciente enquanto a intensidade do feixe de radiação é modulada em tempo real, permitindo que a dose seja entregue em um ou mais arcos, em vez de múltiplos feixes de radiação. Isso torna o tratamento mais eficiente, reduzindo o tempo necessário para a sessão de radioterapia (10).

Segundo o relatório RT2030, em 2019, a média nacional de atendimento por máquina foi de 565 pacientes, no Brasil. Evidencia-se também que, na região Norte, a quantidade de pacientes por máquina é de 471, significativamente abaixo da média nacional anual. Isso pode ser atribuído às dificuldades logísticas decorrentes das grandes distâncias e à limitada acessibilidade aos diagnósticos de neoplasias, segundo o relatório. Além da apresentação dos dados acerca da realidade brasileira em relação ao acesso à radioterapia, geral e estratificados por estados, o relatório apresenta também, dados sobre o nível tecnológico que os serviços de radioterapia no país possuem (11).

Sabe-se que a tecnologia de teleterapia tridimensional representa a forma mais básica entre as tecnologias de radioterapia atualmente disponíveis. A busca por atualização em um serviço pode ser caracterizada pela introdução de IMRT, representando a primeira etapa de evolução tecnológica dentro da teleterapia. Conforme documentado, 51% dos serviços de radioterapia no Brasil dispunham de IMRT para aplicação dos tratamentos, em 2019. Em contraste, a utilização da técnica VMAT foi ainda mais limitada, com apenas 33% dos serviços alcançando esse nível tecnológico (11). Esses dados destacam a necessidade contínua de avanços tecnológicos e a implementação eficaz dessas inovações nos serviços de radioterapia do país.

Consoante com os pontos apresentados, este estudo tem o objetivo de avaliar a viabilidade e entrega do tratamento *Lattice* com a técnica IMRT em comparação com a VMAT.

2. Materiais e Métodos

Um conjunto diversificado de dez casos, abrangendo neoplasias em vários sítios anatômicos, dispostos na Tabela 1, foi submetido ao planejamento utilizando VMAT com a aplicação da técnica *Lattice*. Este processo, realizado por meio do software Eclipse v13.6 com o algoritmo de cálculo AAA (*Analytical Anisotropic Algorithm*) v.13.6.23 da Varian com correção de heterogeneidade, foi explorado em um estudo anterior na instituição (12).

Sítio	N.º de esferas	Volume GTV (cc)
Cabeça e Pescoço	9	244,6
Pulmão	9	90,1
Abdômen	10	335,8
Tórax	13	282,6
Pulmão	22	442,0
Ombro	27	712,3
Cabeça e Pescoço	27	960,2
Escápula	27	1124,5
Coxa	35	802,3
Glúteo	54	1734,5

Fonte: O autor (2025).

A partir dos resultados positivos e validação obtida durante este trabalho (12), a técnica *Lattice* foi implementada nas práticas de radioterapia da instituição. O conjunto representativo de casos, parte integrante da pesquisa anterior conduzida na instituição, enriqueceu a compreensão dos benefícios e desafios inerentes à aplicação da técnica VMAT para a implementação prática da técnica *Lattice*.

No presente estudo, uma versão IMRT foi elaborada para cada caso previamente planejado com VMAT. Utilizou-se um número suficiente de campos para gerar distribuições de dose análogas, a partir da otimização dos planos VMAT com o mínimo de interações do planejador com os objetivos de otimização do Eclipse. O objetivo principal foi minimizar as doses nos OARs. Sob a ótica de alcançar os mesmos objetivos dosimétricos nos vales, foi criada uma estrutura auxiliar denominada “_Vale esferas”, ilustrada na Figura 1, recortada da borda externa do PTV com margem de 1,6 cm e do interior das esferas com 0,5 cm. Essa estrutura possibilitou reprodutibilidade para otimização e avaliação do objetivo dosimétrico para essas regiões em todos os 10 pacientes que foram replanejados com a mesma energia nominal dos planos em VMAT (6 MV), através da normalização dos planos de forma a manter a dose média no “_Vale esferas” idêntica entre as opções IMRT e VMAT.

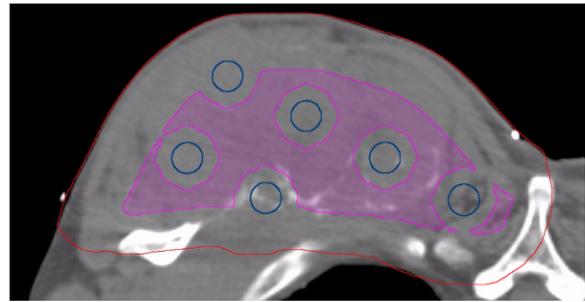


Figura 1. Estrutura “_Vale esferas” posicionada no interior do volume alvo.

Utilizou-se a disposição prévia dos picos, que seguiu o protocolo de estruturas esféricas com diâmetro de 1,2 cm e com distância de centro a centro de 3 cm, com até 5 mm da periferia do GTV e com uma distância mínima de 1 cm dos órgãos de risco (OAR, *Organs at Risk*) em todo o GTV (12). É importante ressaltar que, além desta metodologia, existem outras abordagens de configuração dos alvos, descritas na literatura para aplicação da técnica *Lattice* (1,2,13,14).

Assim como no estudo anterior, a técnica *Lattice* foi utilizada apenas na fração inicial, com prescrição de 5 Gy no volume alvo e com a dose ablativa de 14 Gy nas esferas dispostas dentro do GTV. As quatro frações adicionais tiveram dose prescrita de 5 Gy no alvo, com a mesma técnica (IMRT e VMAT) utilizada na primeira fração.

Após os planejamentos, foi realizada a soma das cinco frações. Obtiveram-se as razões entre as doses especificadas pelo (DVH, *Dose Volume Histogram*) e as doses limites para cada um dos parâmetros publicados por Timmermann (15) para tratamentos hipofracionados com 5 frações. A diferença entre essas razões encontradas nos planos de IMRT e VMAT foi obtida para cada parâmetro, e desse conjunto de valores foi encontrada a mediana e o desvio máximo, como indicativos da diferença de doses entre as técnicas.

Os índices de qualidade sob análise abrangeram o índice de conformidade (CI, *Conformity Index*), unidades monitoras (MU, *Monitor Units*), bem como as doses médias de pico e vale. O CI é a razão entre o volume tratado com a isodose de prescrição e o volume alvo (16), foi avaliado o volume da isodose de 34 Gy da soma dos planos com o volume das esferas.

Com os planejamentos em IMRT realizados, e a partir dos controles de qualidade específicos dos pacientes (PSQA, *Patient Specific Quality Assurance*), foi conduzida uma avaliação gama global dos planos (17). Essa avaliação foi comparada com a análise prévia dos planos de VMAT, realizada nas mesmas condições do trabalho anterior (13). Utilizou-se o EPID como detector planar no acelerador linear Trilogy (Varian Medical Systems), equipado com o (MLC, *multileaf collimator*) Millenium 120, com espessura de 0,5 cm. Utilizaram-se os parâmetros protocolados pela instituição para análise gama de planos VMAT: diferença de dose (DD, *Dose Difference*) de 4%, distância de concordância (DTA,

Distance to Agreement) de 4 mm e *Threshold* de 20%. O Task Group n.º 218 (18) recomenda que, para técnicas como a radiocirurgia estereotáxica (*stereotactic radiosurgery, SRS*) e radioterapia estereotáxica extracraniana (*stereotactic body radiotherapy, SBRT*), as análises gama sejam realizadas utilizando critérios de DD de 3% e DTA de 2 mm. Seguindo essa recomendação, foram realizadas análises nos planos VMAT e IMRT que empregam a técnica Lattice.

Para determinação do tempo de feixe ativo (*Beam on*) previsto para a primeira fração dos planos VMAT, utilizou-se o TPS (*Treatment Planning System*) no momento da aprovação do planejamento com fator multiplicador do tempo = 1 e obteve-se o tempo de feixe ativo. Para os planos IMRT, calculou-se a razão das unidades monitoras totais pela taxa de dose utilizada. Além da duração do feixe ativo, foram também analisados o número de unidades monitoras na primeira fração de ambas as técnicas, e a razão entre as unidades monitoras de IMRT e VMAT foi calculada.

2.1. Questões Éticas e Legais

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da unidade I do Instituto Nacional de Câncer (INCA), enviado ao sistema “PLATAFORMA BRASIL” e aceito com o número de registro, 6.125.927.

3. Resultados

Os resultados foram detalhados por meio da normalização da dose média na estrutura “_Vale esferas” nos planos de IMRT, sendo equivalente à dose média na mesma estrutura nos planos VMAT, com o valor médio de 7,47 Gy. Para os planos VMAT, a média do CI foi de $1,19 \pm 0,24$, em comparação com $1,85 \pm 0,27$ para os planos IMRT.

A dose média no pico para os planos VMAT foi de $14,16 \pm 0,84$ Gy, enquanto para os planejamentos IMRT o valor foi de $14,77 \pm 0,51$ Gy, evidenciando uma diferença percentual de +4,1%. Além disso, a média de MU para os planos VMAT foi de 4228 ± 1126 MU, em contraste com 15713 ± 2818 MU para os planejamentos IMRT. A partir desses dados, foi calculada a razão de MU entre as técnicas IMRT e VMAT, resultando em 3,7. Esses dados foram obtidos para a primeira aplicação, onde a técnica Lattice foi avaliada.

Com a avaliação gama realizada com 4% de DD e 4 mm de DTA, a média de pontos aprovados para os planejamentos da técnica VMAT foi de $96,3 \pm 2,0\%$. Similarmente, a média para os planos com a técnica IMRT foi computada em $97,2 \pm 0,7\%$ avaliados sob os mesmos parâmetros da avaliação gama. Alterando os parâmetros da avaliação gama para 3% de DD e 2 mm de DTA, obteve-se um valor médio de aprovação gama de $88,5 \pm 5,8\%$ para os planos VMAT. Por outro lado, para os planos IMRT, o valor médio de aprovação encontrado foi de $91,8 \pm 2,9\%$.

O tempo médio de exposição ao feixe previsto para os planos de VMAT foi de 7 ± 2 minutos, ao passo que para os planos de IMRT, a média foi de 26 ± 5 minutos. Apresentando desta forma, um tempo de feixe ativo para a técnica IMRT, aproximadamente 3,6 vezes maior que a técnica VMAT.

Na Figura 2, são visualizados os perfis de dose diagonais em um corte axial com várias esferas, onde é possível visualizar a similaridade entre as distribuições de dose em um corte da tomografia do paciente utilizada para o planejamento da técnica Lattice na primeira fração.

Os resultados das doses absorvidas pelos órgãos de risco podem ser vistos na Figura 3, e a partir da análise estatística das discrepâncias dos dados foi obtida uma mediana de $-0,2\%$ e uma variação máxima de 24,4%.

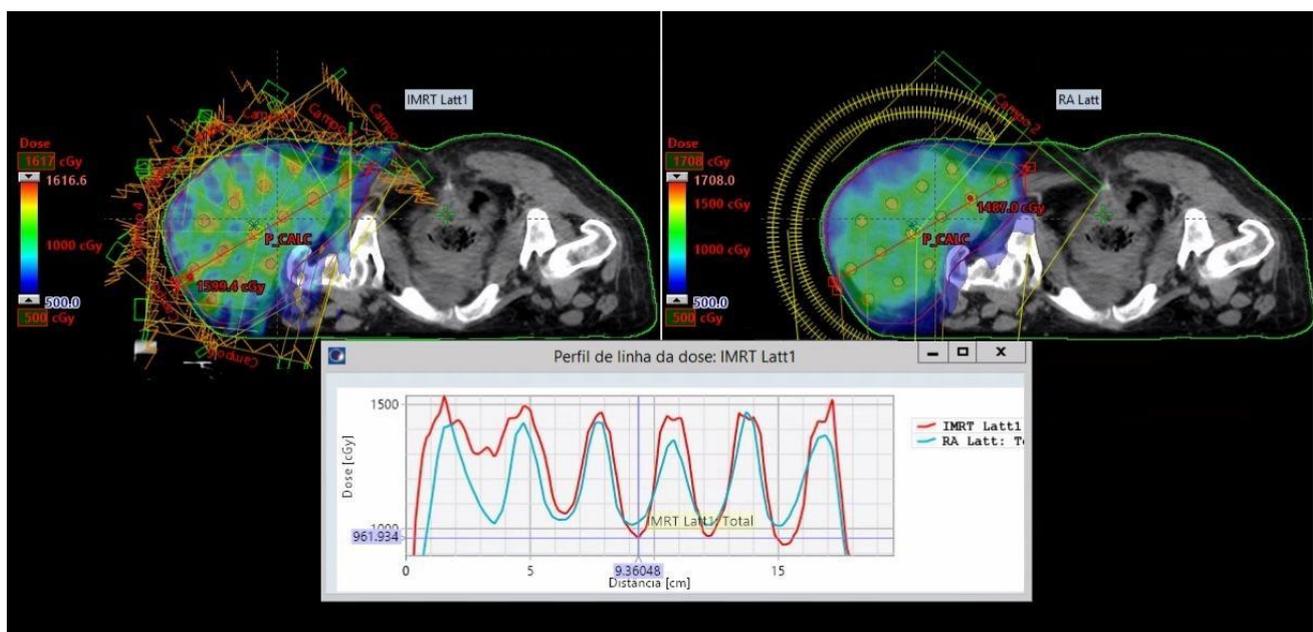


Figura 2. Perfis de dose diagonais em um corte axial do volume de um paciente para a técnica IMRT e VMAT.

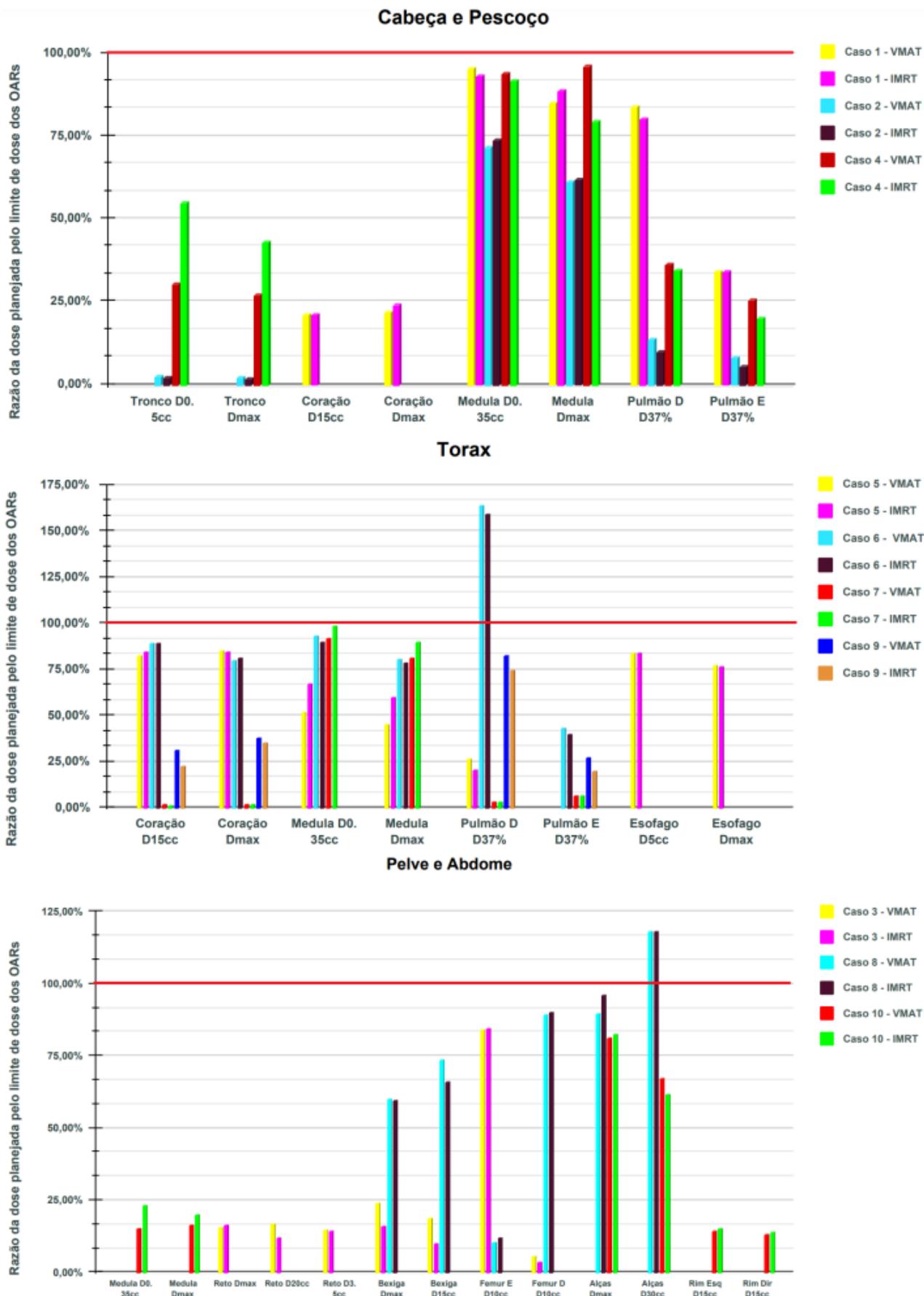


Figura 3. Razão da dose em relação aos respectivos limites dos órgãos para os 10 casos agrupados por localização anatômica. Todos os órgãos associados aos sítios próximos ao volume alvo são apresentados para cada técnica, IMRT e VMAT. A linha horizontal vermelha define o valor limite de dose estabelecido pela literatura para os OARs (15).

4. Discussão

Os resultados apresentados revelam uma análise abrangente e detalhada das comparações entre as técnicas de VMAT e IMRT na aplicação da técnica *Lattice*. A normalização da dose média na estrutura “_Vale esferas” permitiu uma avaliação direta, destacando discrepâncias no índice de conformidade, dose média no pico, unidades monitoras e na apresentação da avaliação gama.

A diferença no CI, expõe a limitação de conformação do IMRT em relação ao VMAT na capacidade de conformar a dose de prescrição ao alvo, o que é fortemente dependente do número de campos e da geometria de incidências de campos para alcançar o objetivo. Porém, ressalta-se que o volume alvo, no caso dos picos para a técnica *Lattice*, não corresponde a um alvo anatômico, e por isso sua conformidade de dose tem menor relevância nos objetivos do plano que a dose em órgãos de risco e a dose média nos picos e nos vales.

A análise da razão entre as doses médias nos picos revela discrepância de +4,1%, indicando uma leve variação na distribuição de dose de prescrição entre as duas técnicas, sendo ambas eficientes em conseguir dose média acima da prescrição de 14 Gy.

Observa-se que, apesar da necessidade de uma quantidade 3,7 vezes maior de MU e de um tempo de feixe ativo aproximadamente 3,6 vezes maior do que os planos em VMAT, o IMRT destaca-se por sua comparabilidade na entrega do tratamento. Segundo os parâmetros relevantes para a aplicação segura da técnica, em termos de toxicidade e efetividade biológica, o IMRT apresenta doses nos OARs e doses médias nos picos comparáveis, demonstrando uma eficácia equiparável à do VMAT.

Avaliados sob as mesmas condições de irradiação no acelerador linear Trilogy, incluindo configuração, detector e parâmetros dosimétricos para a avaliação gama, os planos gerados pela técnica IMRT exibiram uma média de aprovação satisfatória. Esses resultados foram comparáveis à média dos planos VMAT e indicam uma ligeira superioridade na precisão da IMRT. Esses resultados evidenciam que o acelerador linear realiza a entrega com fidelidade das distribuições de dose planejadas, atendendo ao elevado nível de modulação exigido para a aplicação da técnica *Lattice*.

A análise detalhada das doses nos órgãos de risco proporciona uma visão abrangente sobre a eficácia comparativa das técnicas IMRT e VMAT. Como mostra a Figura 3, a avaliação das doses nos órgãos de risco revela uma comparabilidade significativa nas doses recebidas, indicando um desempenho semelhante entre as duas abordagens. A análise estatística das discrepâncias nas doses absorvidas pelos órgãos aponta a ausência de diferença estatisticamente significativa entre elas. Esse resultado sugere que ambas as abordagens conseguem garantir níveis adequados de proteção aos órgãos de risco analisados na aplicação da técnica *Lattice*. Já para os órgãos com os limites excedidos, alças intestinais e pulmão, os mesmos

excediam os limites recomendados pela literatura nos planos convencionais, sem a aplicação da técnica *Lattice*, como pode ser verificado no artigo publicado (16). A observação de doses além dos limites estabelecidos para esses órgãos ressalta a necessidade de considerações adicionais no planejamento radioterápico, e a particularidade da otimização das técnicas IMRT e VMAT para casos específicos, visando uma melhor adequação aos limites de tolerância desses órgãos críticos.

No geral, esses resultados sugerem que ambas as técnicas têm suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre VMAT e IMRT deve ser feita com base nas necessidades clínicas específicas, eficiência do tratamento, disponibilidade de tecnologia, qualidade e necessidades clínicas. Esta análise fornece uma contribuição valiosa para a compreensão das características distintas dessas abordagens na radioterapia, permitindo uma tomada de decisão informada para a escolha da técnica mais apropriada em diferentes contextos clínicos para a aplicação da técnica *Lattice*. É importante ressaltar que, havendo a disponibilidade das técnicas IMRT e VMAT, recomenda-se a utilização de VMAT devido ao menor tempo de tratamento em comparação com a IMRT.

5. Conclusões

Este estudo sugere a viabilidade dos planos de Radioterapia Espacialmente Fracionada com a técnica *Lattice* utilizando IMRT, em comparação com os mesmos casos planejados com a técnica VMAT. A análise revelou qualidade dosimétrica similar entre as abordagens, conforme indicado pela variação de 4,1% na dose média dos picos quando a dose média nos vales foi mantida constante por meio da normalização dos planos. Além disso, observou-se uma mediana de -0,2% na diferença entre as doses recebidas pelos OARs, normalizadas pelos limites de dose. A qualidade da execução das técnicas foi comparável, como evidenciado pelos percentuais médios de pontos aprovados na avaliação gama da dose medida no EPID em relação à planejada, de $97,2 \pm 0,7\%$ para IMRT contra $96,3 \pm 2,0\%$ para VMAT com parâmetros de 4% de DD e 4 mm de DTA. Há também uma superioridade do valor médio da aprovação dos pontos quando os parâmetros da avaliação gama são mais restritos com 3% de DD e 2 mm de DTA, com $91,8 \pm 2,9\%$ para os planos IMRT e $88,5 \pm 5,8\%$ para os planos VMAT.

O estudo evidenciou uma maior dificuldade de conformação da dose prescrita às esferas utilizando IMRT, através da análise do índice de conformidade, cujo valor médio dos planos aumentou de $1,19 \pm 0,24$ com VMAT para $1,85 \pm 0,27$ com IMRT.

A maior limitação encontrada foram os aumentos dos números de MU e dos tempos de feixe ativo por fatores de 3,7 e 3,6, respectivamente, associados ao IMRT em relação ao VMAT. Esses aumentos são atribuídos a um maior aporte de campos necessários para o alinhamento com as correlações de dose no vale, utilizando a metodologia aplicada no estudo.

A uniformidade nas doses identificadas na preservação dos órgãos críticos oferece uma

perspectiva satisfatória, destacando a capacidade da técnica IMRT comparável ao VMAT em atender aos requisitos de preservação desses órgãos na utilização da técnica *Lattice*. Esses resultados são particularmente significativos, ao reforçarem a segurança e a efetividade do IMRT no que se refere à minimização da exposição dos órgãos de risco à radiação, promovendo, assim, uma abordagem segura e personalizada no tratamento radioterápico com a aplicação da técnica. A técnica VMAT é preferível, por permitir um tempo de tratamento reduzido e menos MUs para a entrega da dose, sendo recomendada sempre que disponível. No entanto, na ausência da VMAT, a IMRT é uma alternativa viável para a aplicação da técnica *Lattice*.

Referências

- Griffin, R. J. et al. Understanding high-dose, ultra-high dose rate, and spatially fractionated radiation therapy. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, Elsevier, v. 107, n. 4, p. 766–778, 2020.
- Gregoire, V.; Mackie, T. R. Dose prescription, reporting and recording in intensity-modulated radiation therapy: a digest of the icru report 83. *Imaging in Medicine*, Future Medicine Ltd, v. 3, n. 3, p. 367, 2011.
- Massaccesi, M. et al. Spatially fractionated radiotherapy (sfRT) targeting the hypoxic tumor segment for the intentional induction of non-targeted effects: an in silico study to exploit a new treatment paradigm. *Technical Innovations & Patient Support in Radiation Oncology*, Elsevier, v. 14, p. 11–14, 2020.
- Ferini, G. et al. Impressive results after “metabolism-guided” lattice irradiation in patients submitted to palliative radiation therapy: preliminary results of lattice_01 multicenter study. *Cancers*, MDPI, v. 14, n. 16, p. 3909, 2022.
- Wu, X. et al. On Modern Technical Approaches of Three-Dimensional High-Dose Lattice Radiotherapy (LRT). *Cureus*, v. 2, n. 3, 2010.
- Pellizzon, A. C. A. Lattice radiation therapy—its concept and impact in the immunomodulation cancer treatment era. *Revista da Associação Médica Brasileira*, SciELO Brasil, v. 66, p. 728–731, 2020.
- Billena, C.; Khan, A. J. A current review of spatial fractionation: Back to the future? *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, Elsevier, v. 104, n. 1, p. 177–187, 2019.
- Larrea, L. et al. Lattice radiotherapy (Lrt) protocol: First analysis. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, Elsevier, v. 108, n. 3, p. e194, 2020.
- Suarez, J. M. B. et al. The use of lattice radiation therapy (Lrt) in the treatment of bulky tumors: a case report of a large metastatic mixed mullerian ovarian tumor. *Cureus*, v. 7, n. 11, 2015.
- Hall, E. *Radiobiology for the radiologist*, lippincott williams & wilkins, philadelphia, pa. 2000.
- Sociedade Brasileira De Radioterapia. Projeto RT2030-Plano de Desenvolvimento da Radioterapia para a próxima década Disponível em: https://sbradioterapia.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Relatorio_Projeto_RT2030.pdf. Acesso em: 03 de janeiro de 2024.
- Partichelli, F. P.; Botelho, M. A. Evaluation of the applicability of the lattice radiotherapy technique at the National Cancer Institute-INCA. *Medical Dosimetry*, Elsevier, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meddos.2023.05.003>
- Grams, M. P. et al. VMAT grid therapy: A widely applicable planning approach. *Practical Radiation Oncology*, v. 11, n. 3, p. e339-e347, 2021.
- Durisetil, S. et al. Spatially fractionated stereotactic body radiation therapy (Lattice) for large tumors. *Advances in Radiation Oncology*, v. 6, n. 3, p. 100639, 2021.
- Timmerman, R A story of hypofractionation and the table on the wall. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 112(1):4–21; 2021. doi:10.1016/j.ijrobp.2021.09.027.
- ICRU. Prescribing, recording and reporting photon beam therapy (supplement to ICRU report 50), report 62, 1999. Bethesda. USA.
- Low, Daniel A. Gamma dose distribution evaluation tool. In: *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2010. p. 012071.
- Miften, M. et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: recommendations of AAPM Task Group No. 218. *Medical physics*, v. 45, n. 4, p. e53-e83, 2018.

Contato:

Nome: Jheferson Salvador da Silva Gomes

Afiliação: Instituto Nacional de Câncer-INCa.

Endereço: Praça da Cruz Vermelha, 23-Centro, Rio de Janeiro-RJ, 20230-130.

E-mail: jhefersons53@gmail.com