



PLANEJAMENTO RADIOTERÁPICO EM SISTEMA NERVOSO CENTRAL DE PACIENTES GESTANTES: COMPARAÇÃO DE DIFERENTES ALGORITMOS DE CÁLCULO PARA SIMULAÇÃO DOSIMÉTRICA

Juan Carlos C. Lamônica¹, Arnie V. Nolasco², Adriana S. M. Batista^{1,3}

¹Departamento de Engenharia Nuclear, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte/MG

²Instituto de Radioterapia São Francisco, R. Itapagipe, 762, Belo Horizonte/MG

³Departamento de Anatomia e Imagem, A. Alfredo Balena, 190, Belo Horizonte/MG

juancarlosc504.fis@gmail.com, arnienolasco@hotmail.com, adriananuclear@yahoo.com.br

Palavras-Chave: Radioterapia, Gravidez, Simulador de corpo

RESUMO

O tratamento radioterápico em mulheres grávidas não é comum, somente sendo executado em casos de última necessidade. No entanto, neste contexto, é necessário que as estratégias de planejamento propostas considerem a presença do feto e sua correta localização na pelve feminina de acordo com o tempo de gestação estimado para a execução do tratamento. A escolha dos parâmetros terapêuticos, dos campos de radiação e de todos os demais fatores influentes no *setup* radioterápico devem contemplar o objetivo de minimização da dose no feto. Por ser um acontecimento de pouca frequência é recomendada, além da simulação computacional protocolar, a sistematização dos procedimentos por meio de uma simulação prévia do tratamento com a utilização de um simulador antropomórfico que permita a apuração e a validação dos resultados dosimétricos previstos pelo Sistema de Planejamento e Tratamento (TPS). Neste sentido, para este trabalho, realizou-se um estudo da adequação do uso de um simulador antropomórfico do tipo Alderson-Rando para validar um planejamento de tratamento em mulher grávida com câncer na região cranial supratentorial. Para o planejamento, imagens de Tomografia Computadorizada (TC) do simulador foram obtidas com o equipamento Siemens SOMATOM. Posteriormente realizou-se um planejamento radioterápico computacional através do TPS Elekta Mônica 5.11. Em consideração a simulação do estado de gravidez, considerou-se para o planejamento a posição do feto correspondente ao tempo de gestação de 20 semanas. Foi definida a ocorrência de uma lesão hipotética com 5 cm³ no lobo frontal do cérebro. A proposta de tratamento consistiu na utilização de 7 campos coplanares distribuídos angularmente com intervalos de aproximadamente 51°. Como resultado, o TPS estimou por diferentes métodos de cálculo a distribuição de dose em um ponto central da posição do feto na pelve. A utilização de algoritmos analíticos anisotrópicos apresentou resultados próximos dos obtidos a partir do uso de métodos estocásticos (Monte Carlo). Ambos demonstraram a existência de dose não negligenciável na região do feto, corroborando a intenção de se criar alternativas que diminuam as doses depositadas na região.

1. INTRODUÇÃO

A radioterapia é uma modalidade essencial no tratamento de diversos tipos de câncer, sendo amplamente utilizada devido à sua capacidade de controlar e eliminar neoplasias malignas. Contudo, em casos envolvendo pacientes gestantes, o planejamento do tratamento se torna um desafio considerável devido à preocupação com os efeitos da radiação ionizante sobre o feto. Estudos indicam que a exposição fetal à radiação pode resultar em malformações, atraso no crescimento intrauterino e aumento do risco de câncer na infância e idade adulta [1,2].

Embora o tratamento radioterápico em mulheres grávidas seja raro e realizado apenas em casos de extrema necessidade, a minimização da dose de radiação no feto é uma prioridade central. De acordo com estudos, técnicas avançadas de planejamento, como a modulação de intensidade de



feixe, são recomendadas para assegurar que a dose absorvida pelo feto permaneça dentro dos limites seguros [1,3]. Além disso, é fundamental considerar a posição do feto na pelve, que varia conforme o estágio gestacional [4]. Dada a raridade desses casos, recomenda-se o uso de simuladores antropomórficos em conjunto com a simulação computacional para validar os resultados dosimétricos previstos pelos Sistemas de Planejamento de Tratamento (TPS). Simuladores como o modelo Alderson-Rando têm sido amplamente utilizados, pois permitem uma representação realista das características anatômicas humanas, contribuindo para a validação experimental da distribuição de dose [2].

Neste estudo, foi realizada uma investigação sobre a adequação do uso de um simulador antropomórfico do tipo Alderson-Rando para validar o planejamento radioterápico de uma mulher grávida com câncer supratentorial. O objetivo foi verificar a precisão das estimativas de dose ao feto fornecidas pelo TPS e propor ajustes que minimizem a exposição fetal. De acordo com estudos anteriores, a validação experimental é crucial para confirmar os resultados dosimétricos simulados computacionalmente [5], e o presente estudo contribui para o desenvolvimento de protocolos mais seguros em radioterapia para gestantes.

2. METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido com o objetivo de comparar a distribuição de dose calculada por dois algoritmos de planejamento radioterápico: o método estocástico Monte Carlo e o método analítico *Collapsed Cone*. A comparação foi focada na região fetal de uma paciente com 20 semanas de gestação, submetida a tratamento radioterápico para uma lesão supratentorial hipotética. Embora o fantoma empregado forneça uma base útil para simulação, ele não representa com exatidão a anatomia detalhada de uma mulher grávida de 20 semanas. Reconhecemos que esta limitação pode impactar a precisão dos resultados relativos à distribuição de dose na região fetal, mas o modelo foi selecionado para oferecer uma referência prática e viável ao contexto de pesquisa. Futuras análises poderiam se beneficiar de modelos anatômicos mais específicos para gestantes, com a finalidade de aumentar a validade dos resultados para essa população.

2.1. Aquisição de Imagens de Tomografia Computadorizada

As imagens de tomografia computadorizada (TC) foram adquiridas utilizando o equipamento Siemens SOMATOM do Complexo Hospitalar São Francisco de Assis em Belo Horizonte. Para simular o estado de gravidez de 20 semanas, foi utilizado o simulador antropomórfico Alderson-Rando, posicionado de forma que representasse, mesmo que não fielmente, a anatomia da paciente e a localização do feto na pelve, como mostrado na Fig. 1.

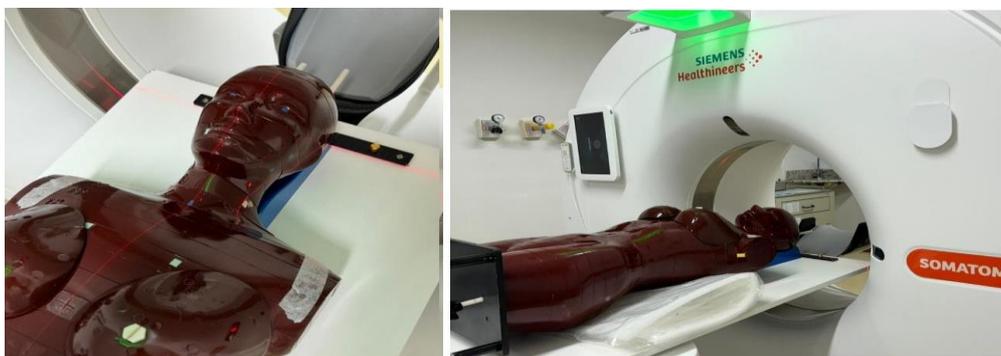


Fig. 1. Procedimento de simulação do tratamento radioterápico com dados de TC do SNC do Rando-Alderson. Departamento de Radiologia do Hospital São Francisco (HSF).



A escolha de 20 semanas de gestação foi baseada em estudos prévios que indicam que esta fase representa um momento crítico no desenvolvimento fetal e sensibilidade à radiação [6]. A espessura dos cortes tomográficos foi de 3 mm, proporcionando a resolução necessária para a definição precisa dos órgãos e do volume alvo. A simulação da posição de tratamento obedeceu ao protocolo de posicionamento para tratamentos de lesões do sistema nervoso central (SNC). As imagens de TC foram importadas para o Sistema de Planejamento de Tratamento (TPS) Elekta Mônica 5.11, onde foi delimitada uma lesão supratentorial hipotética no lobo frontal, com volume de aproximadamente 5 cm³ (Fig. 2.). A região fetal foi contornada como uma estrutura de interesse situada a altura da vértebra lombar L5 e L4, seguindo as diretrizes de proteção fetal em radioterapia descritas na literatura [3,4].

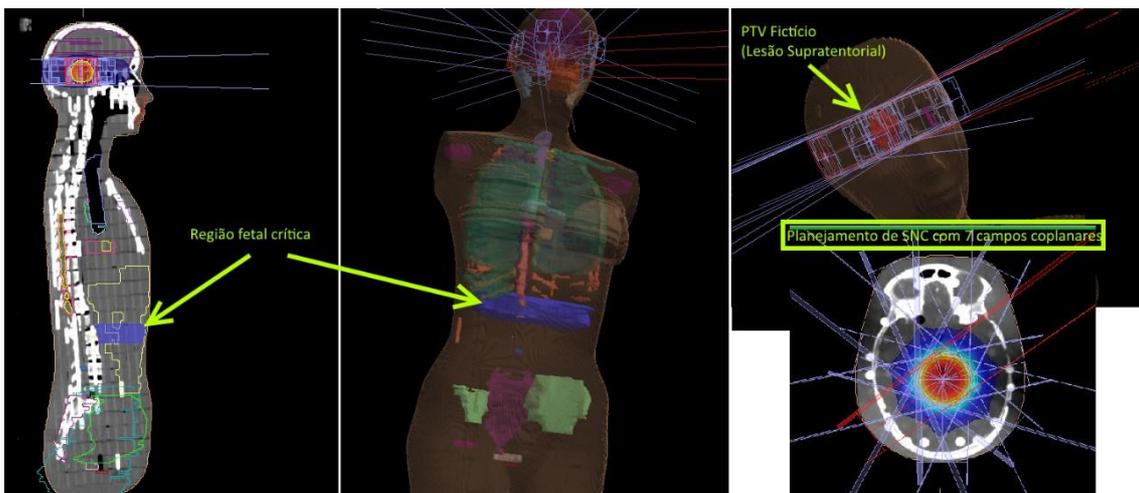


Fig. 2. Delineamento das estruturas em risco (OARs) e da lesão fictícia no SNC.

2.2. Planejamento Radioterápico

O planejamento radioterápico foi realizado utilizando sete campos de radiação coplanares, distribuídos angularmente em intervalos de 51°. Essa configuração é recomendada para garantir uma cobertura homogênea do volume alvo, minimizando a dose nos tecidos adjacentes, conforme descrito por Christian *et al.* (2007) [7]. A dose prescrita para o volume alvo foi de 60 Gy, fracionada em 30 sessões de 2 Gy, seguindo protocolos clínicos padrão para lesões cerebrais. Foram utilizados dois algoritmos de cálculo de dose:

Algoritmo Monte Carlo Elekta Mônica (MC): Este algoritmo é amplamente reconhecido como uma ferramenta eficaz e amplamente adotada em contextos clínicos, devido à sua precisão na modelagem do transporte de partículas e na interação da radiação com diferentes densidades teciduais. Ele é particularmente eficaz em regiões anatômicas complexas, como a pelve, onde variações de densidade podem impactar significativamente a distribuição da dose.

Algoritmo *Collapsed Cone* (CC): Este é um método analítico anisotrópico que fornece uma estimativa rápida da dose, com base em aproximações matemáticas. Embora seja menos preciso do que o Monte Carlo em regiões de alta heterogeneidade, o *Collapsed Cone* é amplamente utilizado por sua eficiência computacional, especialmente em contextos clínicos com restrições de tempo para planejamento da estratégia de tratamento personalizada.

Ambos os algoritmos foram aplicados para o cálculo da distribuição de doses com as mesmas condições geométricas (*Setup*), como está ilustrado na Fig. 3. Para as duas estratégias em comparação foram atribuídos campos com as mesmas angulações de *Gantry*, *Colimador* e

Mesa. Foram estabelecidos os mesmos formatos de colimação secundária (permitida através do sistema de MLC – do inglês, *multi leaf collimator*), variando apenas o método de cálculo, para garantir uma comparação consistente dos resultados. O tempo médio de otimização para a realização do planejamento com esses algoritmos foi, grosseiramente colocando, algo entre 15 e 45 minutos para MC e 2 a 5 minutos para CC. Vale ressaltar que o tempo é dependente da capacidade computacional do *hardware* instalado.

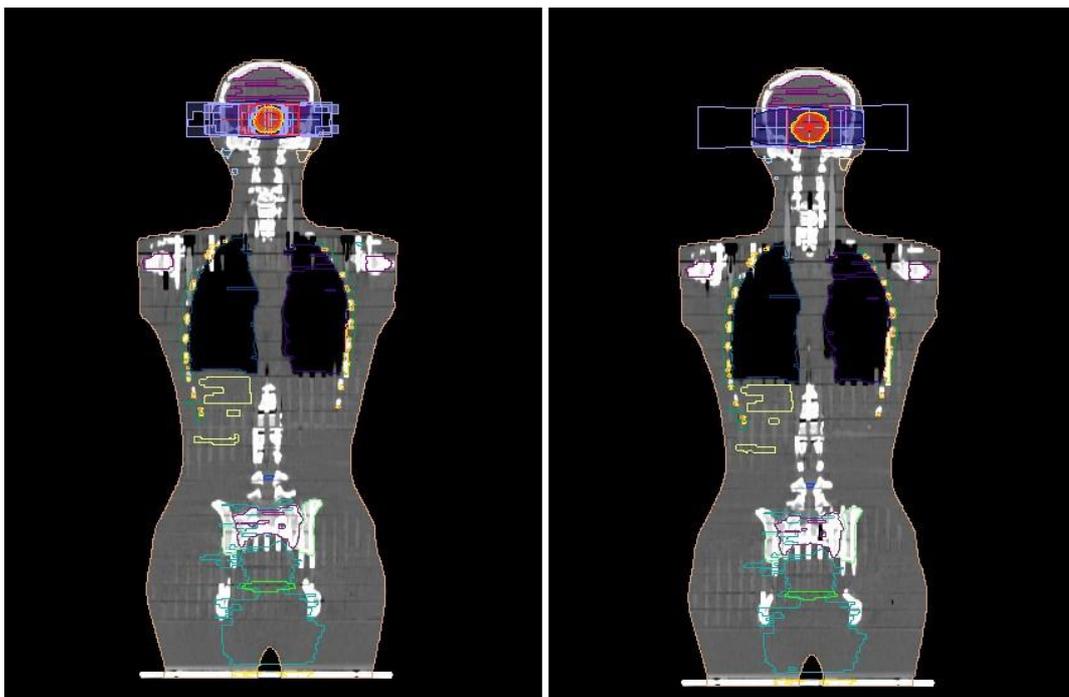


Fig. 3. Avaliação dos Planos através de cálculos estocásticos (à esquerda) e analíticos anisotrópicos (à direita).

2.3. Avaliação dos Planos

Os dados de dose para a região fetal foram extraídos e comparados entre os dois algoritmos. As métricas avaliadas incluíram a dose mínima, a dose máxima e a dose média calculada na região fetal. Essas informações foram organizadas em tabela e gráfico para facilitar a comparação entre os algoritmos.

A comparação foi realizada com base nos seguintes parâmetros:

- Dose pontual Máxima: Refere-se ao ponto de maior concentração de dose dentro da região fetal.
- Dose Média: Representa a dose total recebida pela região fetal, ponderada pelo volume da região.
- Dose pontual Mínima: Refere-se à menor dose calculada dentro da região fetal.

3. RESULTADOS

A comparação entre os algoritmos Monte Carlo e *Collapsed Cone* foi realizada para avaliar a distribuição de doses na região fetal, especificamente considerando o estágio de 20 semanas de gestação. Os dados analisados, incluindo a dose mínima, dose máxima e dose média, foram sumarizados na Tab. 1.



| Algoritmo | Volume Fetal (cm ³) | Min Dose (cGy) | Max Dose (cGy) | Mean Dose (Dose Média) (cGy) | Incerteza – Dose média (cGy) |
|-----------------------|---------------------------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
| Monte Carlo | 494.562 | 0.0 | 3.0 | 0.1 | 0.01 |
| <i>Collapsed Cone</i> | 494.562 | 0.0 | 1.2 | 0.3 | 0.02 |

Tab. 1. Comparação das doses calculadas para a região fetal de 20 semanas.

Os dados analisados foram representados na Fig. 4.

Comparação de Doses na Região Fetal 20 sem (Monte Carlo vs. *Collapsed Cone*)

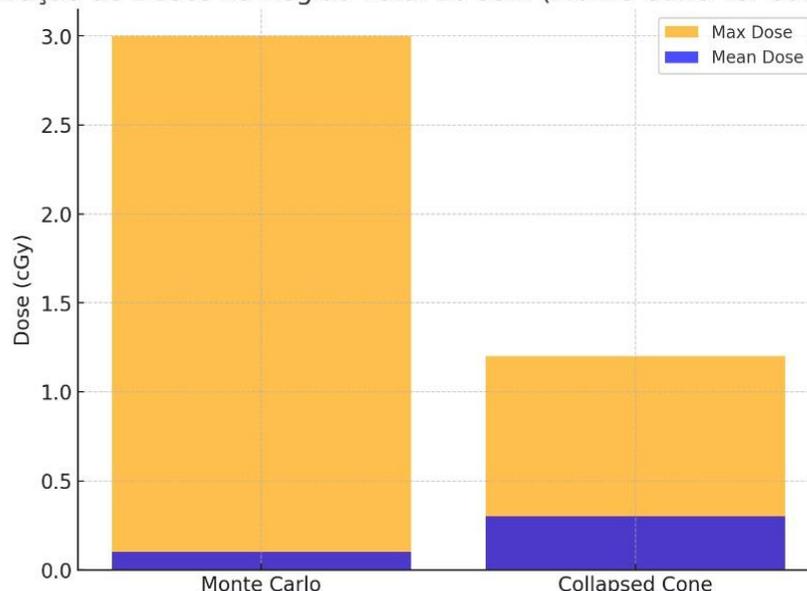


Fig. 4. Comparação de doses na região fetal – Monte Carlo vs. *Collapsed Cone*.

O algoritmo Monte Carlo estimou uma dose máxima de 3,0 cGy na região fetal, enquanto o *Collapsed Cone* estimou uma dose máxima de 1,2 cGy. Apesar de o Monte Carlo ter detectado uma dose máxima mais alta, a dose média calculada foi de 0,1 cGy, em contraste com a dose média de 0,3 cGy estimada pelo *Collapsed Cone*.

Os resultados indicam uma diferença significativa na dose máxima entre os dois algoritmos, com o Monte Carlo detectando valores superiores. Isso é esperado, dado que o algoritmo Monte Carlo é conhecido por sua alta precisão em modelar o transporte de partículas em meios heterogêneos, como o corpo humano, o que pode resultar em uma estimativa mais detalhada da dose em pequenas áreas, como a região fetal. Estudos anteriores, como o de Andreo (2018) [8], corroboram essa observação, sugerindo que o Monte Carlo tende a identificar *hotspots* de dose mais elevados, especialmente em regiões críticas.

Por outro lado, o *Collapsed Cone* apresentou uma dose média mais alta do que o Monte Carlo. Esse comportamento pode estar relacionado à maneira como o algoritmo analítico simplifica o transporte da radiação, resultando em uma distribuição mais homogênea da dose, conforme descrito por Onizuka *et al.* (2016) [9]. Embora essa abordagem seja computacionalmente eficiente, pode subestimar a dose em áreas com grandes variações de densidade tecidual, como a região abdominal e pélvica.



4. CONCLUSÃO

A discrepância entre os dois métodos reforça a necessidade de considerar múltiplos algoritmos de cálculo no planejamento de radioterapia em gestantes. Embora o Monte Carlo seja geralmente mais preciso na modelagem detalhada do transporte de partículas, sua exatidão em comparação com o método *Collapsed Cone* não pode ser afirmada sem a referência de um valor real de dose para o feto. A maior dose média calculada pelo *Collapsed Cone* sugere que ajustes adicionais nos parâmetros de planejamento podem ser necessários para minimizar a dose fetal, especialmente quando apenas métodos analíticos são utilizados.

Esses achados destacam a importância de uma abordagem multimodal, onde os diferentes algoritmos de cálculo são usados de maneira complementar para garantir a segurança e a eficácia do tratamento radioterápico, principalmente em casos sensíveis como o de gestantes. O uso de algoritmos avançados, como o Monte Carlo, permite uma visualização mais precisa dos hotspots de dose, oferecendo informações valiosas para ajustes no planejamento, enquanto o *Collapsed Cone* pode ser útil para um cálculo rápido e avaliação preliminar da dose.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a parceria do Hospital São Francisco em Belo Horizonte, Minas Gerais. Aos órgãos de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Y. M. Wong *et al.* A review on fetal dose in radiotherapy: a historical to contemporary perspective, *Physica Medica*, Vol. 105, pp. 102513 (2023).
- [2] E. Pantelis *et al.* Radiation dose to the fetus during CyberKnife radiosurgery for a brain tumor in pregnancy, *Physica Medica*, Vol. 32 (1), pp. 237-241 (2016).
- [3] C. Geng *et al.* Dose assessment for the fetus considering scattered and secondary radiation from photon and proton therapy when treating a brain tumor of the mother, *Physics in Medicine & Biology*, Vol. 61 (2), pp. 683 (2015).
- [4] M. Stovall *et al.* Fetal dose from radiotherapy with photon beams: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 36, *Medical Physics*, Vol. 22 (1), pp. 63-82 (1995).
- [5] M. Esposito *et al.* A validation method for EPID in vivo dosimetry algorithms, *Applied Sciences*, Vol. 11 (22), pp. 10715 (2021).
- [6] R. Komaki e E. Chang, Whole-Brain Radiation Therapy. Intracranial metastases: current management strategies, 1ª ed., E. Blackwell Publishing (2004).
- [7] J. A. Christian *et al.* Comparison of inverse-planned three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy for non-small-cell lung cancer, *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, Vol. 67(3), pp. 735-741 (2007).
- [8] P. Andreo, Monte Carlo simulations in radiotherapy dosimetry, *Radiation Oncology*, Vol. 13, pp. 1-15 (2018).
- [9] R. Onizuka *et al.* Accuracy of dose calculation algorithms for virtual heterogeneous phantoms and intensity-modulated radiation therapy in the head and neck, *Radiological Physics and Technology*, Vol. 9, pp. 77-87 (2016).