

Modelo de otimização não linear inteiro misto aplicado ao planejamento de radioterapia 3D

Juliana Campos de Freitas¹

Pós graduação em Biometria, IBB/UNESP, Botucatu, SP

Daniela Renata Cantane²

IBB/UNESP, Botucatu, SP

Helenice de Oliveira Florentino³

IBB/UNESP, Botucatu, SP

A radioterapia é atualmente uma das técnicas mais utilizadas para o tratamento de câncer, a qual é uma doença caracterizada pela mutação e crescimento anormal de células. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (WHO) é estimado que entre 2018 e 2020 no mundo tenha a incidência de aproximadamente 910.677 novos casos [7], por isso a importância de estudar e aprimorar técnicas de tratamento para a doença. Para isso, modelos de otimização são desenvolvidos a fim de escolher o melhor conjunto de feixes, proporcionando a melhor distribuição de dose na região a ser tratada [1, 3–6].

O modelo não linear inteiro misto (1) - (9), proposto em [5], foi implementado para um caso de estudo de apenas um corte de tomografia computadorizada, o que não condiz com a prática clínica a qual analisa a dose recebida no volume tecidual. O Modelo (1) - (9) proposto em [5] envolve as seguintes variáveis e parâmetros: x é o vetor de dose modulada dos k feixes com n subfeixes; Y a matriz diagonal com elementos de y , em que y é vetor linha contendo as variáveis binárias de escolha de feixe, em que 1 indica presença e 0 ausência do feixe; TUB e TLB são, respectivamente, os limitantes de dose superior e inferior; CUB e GUB são limitantes superiores de dose para estruturas críticas e saudáveis; A_T , A_C , A_G são submatrizes de dose no tumor, tecidos críticos e saudáveis, respectivamente; L , U_C , U_G são matrizes identidade; l , u_C , u_G são vetores unitários de penalidade às variáveis elásticas α , β e γ , respectivamente. O modelo proposto é dado por:

$$\text{Minimizar} \quad l^T \alpha + u_C^T \beta + u_G^T \gamma \quad (1)$$

$$\text{Sujeito a} \quad TLB \alpha \leq A_T Y x \leq TUB \quad (2)$$

$$A_C Y x \leq CUB + U_C \beta \quad (3)$$

$$A_G Y x \leq GUB + U_G \gamma \quad (4)$$

$$0 \leq L \alpha \leq TLB \quad (5)$$

$$-CUB \leq U_C \beta \quad (6)$$

$$0 \leq U_G \gamma \quad (7)$$

$$x \geq 0 \quad (8)$$

$$y \in B^n \quad (9)$$

¹juliana.freitas@unesp.br

²daniela.cantane@unesp.br

³helenice.silva@unesp.br

Neste trabalho, é analisada a implementação do modelo (1) - (9) para o caso volumétrico 3D utilizando dados de paciente com tumor de próstata disponíveis em [2]. Foi escolhido um conjunto de 4 entre 25 feixes propostos utilizando a metaheurística busca em vizinhança variável, e assim, a distribuição de dose foi calculada utilizando método de pontos interiores barreira logarítmica. Os resultados preliminares obtidos utilizando Python 3.7 para a metaheurística e Gurobi 9.0 para o método exato encontram-se na Tabela 1.

Função Objetivo (Gy/Voxel)	Tempo (s)	Iterações
1,038	32,67	220

Tabela 1: Resultados preliminares da aplicação do modelo a um caso 3D de tumor de próstata.

Os resultados obtidos se mostraram eficientes, com baixos valores na função objetivo e no tempo computacional, considerando a complexidade do problema de planejamento da radioterapia. Uma análise prática importante para a verificação da eficácia do modelo é a observação da curva de distribuição dose volume (DVH), em que há um limite de dose a ser recebido dado quantidade de volume do tecido. A análise da curva de DVH será discutida durante o evento, assim como a análise da aplicação do modelo a outros pacientes.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, CNPq (302454/2016-0), FAPESP (2014/04353 e 2019/05505), e programa de pós graduação em Biometria da UNESP/IBB.

Referências

- [1] Bertsimas, D., Cacchiani, V., Craft, D. e Nohadani, O. A hybrid approach to beam angle optimization in intensity-modulated radiation therapy. *Computers & Operations Research*, 40:2187-2197, 2013. DOI: 10.1016/j.cor.2012.06.009.
- [2] Breedveld S. e Heijmen B. Data for TROTS - The Radiotherapy Optimisation Test Set. *Data in Brief*. 12:143-149. DOI: 10.1016/j.dib.2017.03.037.
- [3] Cabrera, G. G., Ehrgott, M., Mason, A. J. e Raith, A. A matheuristic approach to solve the multiobjective beam angle optimization problem in intensity-modulated radiation therapy. *International Transactions In Operational Research*, 00:1-26, 2016. DOI: 10.1111/itor.12241.
- [4] Dias, J., Rocha, H., Ferreira, B. e Lopes, M. C. A genetic algorithm with neural network fitness function evaluation for IMRT beam angle optimization. *CEJOR*, 22:431-455, 2014. DOI: 10.1007/s10100-013-0289-4.
- [5] Freitas, J., Florentino, H., Benedito, A. e Cantane, D. Optimization model applied to radiotherapy planning problem with dose intensity and beam choice. *Applied Mathematics and Computation*, 387:124786, 2020. DOI: 10.1016/j.amc.2019.124786.
- [6] Holder, A. G. Designing radiotherapy plans with elastic constraints and interior point methods. *Health Care Management*, 6:5-16, 2003. DOI: 10.1023/A:1021970819104.
- [7] World Health Organization, 2020. Cancer tomorrow. <http://geo.iarc.fr/tomorrow/home>. Acesso: 09/03/2020.