

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DIFERENÇAS ENTRE PLANEJAMENTOS EM MAMA INDUZIDAS PELO ESPECTRO ENERGÉTICO EM SISTEMAS DE RADIOTERAPIA LINAC 4MV, 6MV E Co-60

Jean Carlos de Aquino, jeancarlosaquino@outlook.com^{1,2}

Luciana B. Nogueira, lucibn@yahoo.com.br¹

Tarcísio P.R. Campos, tprcampos@pq.cnpq.br²

¹ Departamento de Anatomia e Imagem, Faculdade de Medicina, Univ.Fed. Minas Gerais, Av. Alfredo Balena, 190, 30130100, Belo Horizonte, MG.

² Depto. Eng. Nuclear, Univ.Fed. Minas Gerais, Av. Antonio Carlos, 6627, 31270901 Belo Horizonte, MG.

Resumo: O objetivo deste estudo foi reproduzir e apontar diferenças entre os planejamentos radioterápicos de mama em protocolos paralelos-opostos induzidos por distintos espectros energéticos. A metodologia proposta foi simular de forma equivalente planejamentos de teleterapia de mama, em LINACs 4MV e 6MV e irradiador de telecobaltoterapia. Foi utilizado como padrão os protocolos do planejamento de tratamento LINAC 6MV, aceitável na prática clínica. Nas três simulações foram preservados os mesmos parâmetros do TPS: anatomia do phantom, distância fonte isocentro, blindagens, filtros, orientações, janelas de campos, definição de regiões de interesse (ROIs), órgãos de risco (ORs), e volume alvo planejado (PTVs), técnica de isocentro e a mesma dose total prescrita (DTP) no PTV de 5040,0 cGy, fracionado em 28 vezes de 180,0 cGy. Para as análises foram empregados histogramas dose-volume DVH (Dose-volume histogram), distribuições espaciais de doses representadas pelas isodoses em regiões de interesse (ROIs), órgãos de risco (ORs), PTV (Planning Target-Volume) e caracterização de pontos quentes gerados. Após identificados as diferenças entre distribuições de dose na mama induzidos pelo espectro energético, quando necessário, os planejamentos foram ajustados de acordo com requisitos de aceitabilidade para teleterapia de mama. Em especial, parâmetros de blindagem no TPS para telecobaltoterapia foram modificados. Os resultados mostraram que os planejamentos radioterápicos apresentam significativas diferenças nas distribuições de doses no PTV e nos ORs, principalmente com diferentes intensidades e posicionamento de pontos quentes, induzidos por diferenças no espectro energético, independente de ter satisfeito o DTP em 100% do PTV. O ajuste da geometria da blindagem em cobaltoterapia foi necessária para atender ao padrão de tratamento. Conclui-se que aparelhos com espectros energéticos distintos, com parâmetros de planejamento equivalentes, induzem significativas diferenças nas distribuições de dose, qualificados por variações nas posições geométricas de pontos quentes e isodoses, o que impõe necessários ajustes nos parâmetros de planejamento para que esses atendam aos requisitos clínicos.

Palavras-chave: Radioterapia de mama, planejamento radioterápico, Co-60, LINAC 4MV, LINAC 6MV;

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA), 2016, a reação ao tratamento radioterápico tem um caráter muito individual em cada paciente, dependendo de fatores como região do corpo a ser tratada, dose aplicada e extensão da área irradiada, que podem determinar a intensidade dos efeitos colaterais. Por exemplo, os efeitos deletérios mais comuns em radioterapia de mama estão associados às alterações cutâneas. As alterações tardias estão associadas ao tecido cardíaco e pulmonar. A irradiação da mama e dos linfonodos regionais levam a irradiação de porção do tecido pulmonar e cardíaco, levando a efeitos adversos que comprometem a qualidade de vida pós-tratamento. Os efeitos

nocivos ao tecido pulmonar provocam diminuição de volumes e capacidades, e induzindo pneumonite e fibrose pulmonar. E tais complicações estão associadas com o volume irradiado.

Aceleradores lineares geram feixes de raios-X polienergéticos cujos espectros são dependentes da energia incidente do feixe de elétrons acelerados. Por sua vez, irradiadores de cobalto utilizam fontes seladas de radionuclídeo Co-60. A meia vida-física do Co-60 é de 5,3 anos e emite radiações γ em cascata de 1,17 e 1,33 MeV. A fonte fica encapsulada em um invólucro de aço inoxidável de forma cilíndrica com diâmetro de 1 a 2 cm, onde há um mecanismo de exposição da fonte, para que o feixe de radiação γ possa ser usado. (SCAFF, 1947) Os três tipos de sistema de irradiação são rotineiramente utilizados na radioterapia de mama; seguindo, por exemplo, um protocolo de dois campos opostos paralelos. No planejamento radioterápico há a definição de parâmetros comuns, como número de campos, peso de cada campo, tamanho de janelas de campo, angulação do *gantry*, presença de bloco de blindagem, presença de filtro em cunha, dose total prescrita, fracionamentos de doses, etc. Após a definição dos parâmetros do planejamento radioterápico é possível obter o protocolo de irradiação que serve como padrão para o tratamento do paciente. Entretanto, há divergências no espectro energético gerado por cada um destes sistemas de irradiação; e, consequentemente, distintos espectros energéticos do feixe primário implicarão em possíveis alterações no processo de planejamento radioterápico. (BIANCHINI, 2011; POLI, 2007) Em geral, tais divergências não são perceptíveis a nível clínico, pois os centros de radioterapia se baseiam em equipamentos pré-existent e os protocolos são elaborados e ajustados em função dos requisitos de aceitabilidade, não sendo usual a pluralidade de sistemas de radiação para mama.

Este estudo propõe a intercomparação de planejamentos radioterápicos de dois campos opostos paralelos em mama, gerado em aceleradores lineares LINAC 6MV, 4MV e cobaltoterapia para acentuar as diferenças na distribuição de dose induzidas pela alteração dos espectros energéticos dos feixes de irradiação. O objetivo é a análise de possíveis divergências nas distribuições espaciais de doses, mantendo os mesmos parâmetros padrões do TPS, como dose total prescrita (DTP), janelas de campos, ROI (*Region of interest*), PTV (*Planing target Volume*), OAR (*Organ at risk*) entre outros. Serão também analisados os parâmetros a serem alterados para adequação dos planejamentos aos requisitos de aceitabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sistemas de Teleterapia

Foram empregados os aceleradores lineares de 4MV (*Clinac 6-80*), 6MV (6MV_X_MLC) e bomba de Cobalto Co-60 (*Gammatron*). O programa computacional de planejamento radioterápico utilizado foi o *software* CAT3D da empresa Mevis Informática Médica (Mevis, 2016). Esse sistema suporta interfaces de imagens DICOM (DICOM 3, NEMA 2009) de tomografia computadorizada (TC), ressonância magnética (MR), tomografia computadorizada por emissão de fóton único (SPECT) e tomografia por emissão de pósitrons (PET). Baseado em imagens de TC e/ou RM, o sistema CAT3D modela a geometria da anatomia do paciente, assim como as distribuições de dose geradas. Os resultados apresentados nos cálculos do CAT3D atingem os critérios estabelecidos para sistemas de planejamentos nos documentos publicados pela *International Atomic Energy Agency* (IAEA), em particular os: IAEA-TECDOC-1540 e IAEA-TECDOC-1583.

2.2 Planejamentos Radioterápicos - Teleterapia de Mama

Para elaboração do TPS, foram utilizadas imagens de um *phantom* de tórax desenvolvido pelo grupo de pesquisa NRI/UFG. O planejamento de 6MV foi reproduzido de acordo com investigações experimentais prévias. (NOGUEIRA *et al*, 2015 A e 2015 B). Foram realizados três planejamentos de teleterapia para o *phantom* de mama. Estes foram construídos utilizando técnica isocêntrica e desenvolvidos seguindo uma lógica padrão, com mesmos parâmetros de TPS.

Foi definido o volume mamário como PTV, e os OARs seguiram as recomendações da ICRU-50, sendo pulmão e o coração. A dose limite para OARs foram; pulmão 30 Gy em no máximo 200 cm³ e coração 30 Gy em no máximo 30 cm³. (ICRU,1993). Após a definição dos ROIs e OARs do TPS para LINAC 6MV, foi feito se a importação das seções tomográficas e das estruturas para os outros dois planejamentos. Assim, os três mantiveram os mesmos parâmetros ROI e OAR. (NOGUEIRA *et al*, 2015 A)

Foi atribuído em sequência os mesmos parâmetros a cada planejamento, sendo a DTP de 5040 cGy com 28 fracionamentos de 180 cGy, técnica isocêntrica, tamanho de janela do campo x=82, y=144, filtros cunha, ângulo do gantry, ângulo do colimador, peso de campo e blindagem. O isocentro foi escolhido na região central da mama esquerda, a aproximadamente 10 mm da parede do tórax.

2.3 Espectros Energéticos

Os espectros energéticos contínuos emitidos por aceleradores LINACs 4MV e 6MV diferem significativamente das emissões discretas de Co-60. A Fig.1 apresenta de forma ilustrativa as intensidades dos espectros energéticos dos raios-gama providos por um LINAC 6MV, 4MV e por uma bomba de cobalto Co-60.

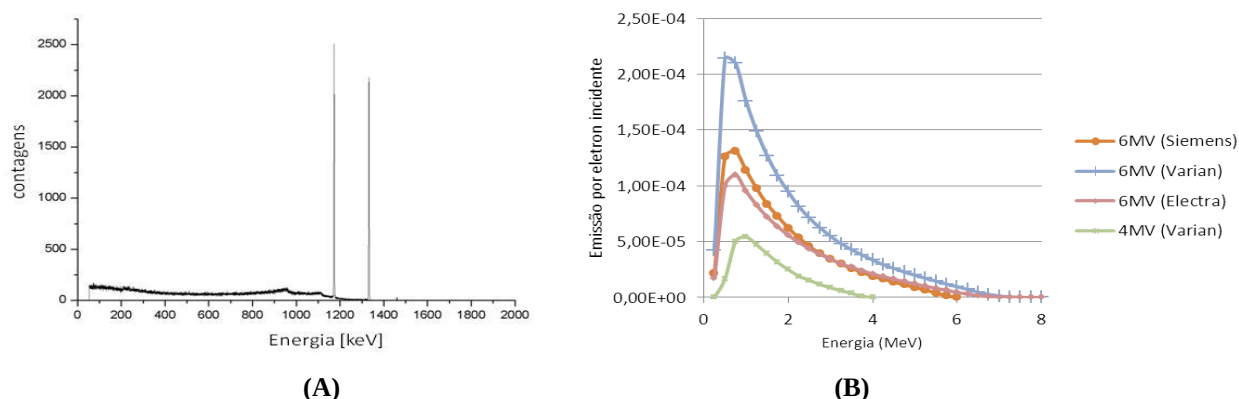


Figura 1 – Ilustração das intensidades dos espectros energéticos dos raios-gamas providos por sistemas de radioterapia de telecobaltoterapia (A), LINAC 4MV e 6MV (B).

2.4 Parâmetros de Planejamentos

A Tab.1 apresenta os parâmetros utilizados para os planejamentos teleterápicos de mama para os sistemas: irradiador de telecobalto, LINAC 6MV e 4MV.

Tabela 1. Planejamentos teleterápicos de mama para cobaltoterapia e LINAC 6MV e 4MV.

	Cobaltoterapia		6MV		4MV	
	Tangente Interna	Tangente Externa	Tangente Interna	Tangente Externa	Tangente Interna	Tangente Externa
Técnica	Isocêntrica	Isocêntrica	Isocêntrica	Isocêntrica	Isocêntrica	Isocêntrica
Peso	48%	52%	48%	52%	48%	52%
Ângulo do Gantry (Graus)	297	102	297	102	243	79
Ângulo do colimador (Graus)	-14	-346	14	346	14	346
Campo (mm)	x= 82 y= 144	x= 82 y= 144	x= 82 y= 144	x= 82 y= 144	x= 82 y= 144	x= 82 y= 144
SSD (mm)	741.6	741.9	941.6	941.9	741.7	742.0
Filtro	F7W15	F7W15	W15	W15	W15	W15
UM	13:30	15:15	143.7	157.3	129.8	142.8

Foi adotado o método de isocentro para cálculo da dose. A distância da fonte ao isocentro (SSD) foi assumido constante igual a 80 cm para o sistema radioterápico LINAC 4MV e Co-60; enquanto foi adotado 100 cm para LINAC 6MV. As distâncias do isocentro à superfície da pele, na direção do eixo de entrada dos feixes, foram 5.84 cm e 5.81 cm tanto para Co-60 e 6MV; e 5.83 cm e 5.80cm para LINAC 4MV.

No LINAC 6 MV, as unidades monitoras (UM) para atender a fração de dose prescrita de 180 cGy a 100% do PTV foram de 143.7 UM e 157.3 UM, para campos da mama interna e externa, respectivamente. Enquanto, para 4MV foi de 129.8 e 142.8 UM, respectivamente.

Os valores temporais de exposição para Co-60 foram de 13:30 e 15:15 (min:seg) respectivamente, referente à taxa de dose corrigida para a data e hora do planejamento.

Os valores de orientação do *gantry* dependeram do tipo de equipamento, entretanto foram adotados de forma que a orientação física coincidisse para os campos tangenciais internos e externos. Pode-se observar através dos dados apresentados que foi possível reproduzir o mesmo planejamento prévio de 6MV nos sistemas LINAC 4MV e Co-60.

Nas três situações, foi ajustado o tamanho da janela de campo para $x=82$ e $y=144$ mm. Este ajuste foi devido a uma mudança na definição das regiões de interesse (ROI) e pequenas divergências entre as características dos aparelhos, mas esse fato não alterou a filosofia de definição de parâmetros que representou a aplicação do mesmo protocolo em distintos sistemas de radioterapia.

O planejamento de 4MV seguiu os mesmos parâmetros do planejamento de 6MV, exceto na mudança da angulação do *gantry*, devido às características do aparelho. Este ajuste foi necessário para que a reprodução da angulação do *gantry* de 4MV estivesse equivalente ao de 6MV e ao irradiador de Cobalto.

Da mesma forma, o planejamento de cobaltoterapia também seguiu esses mesmos parâmetros, havendo apenas uma alteração no sinal do valor do ângulo do *gantry*, devido às características específicas do aparelho, entretanto mantendo a mesma equivalência angulosa orientação e direção vetorial dos outros planejamentos.

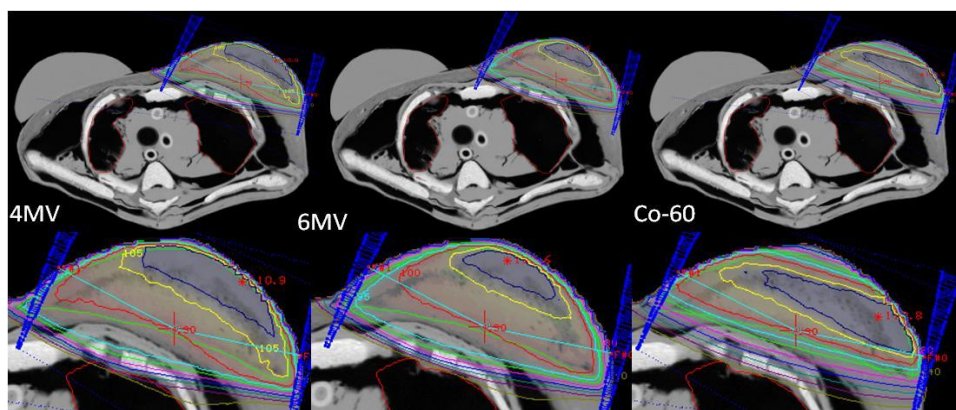
2.5 Intercomparação dos Planejamentos

Os planejamentos foram comparados através das análises de imagens das isodoses em mesma seção axial e dos histogramas dose volume (DVH), e através da presença de pontos quentes.

3. RESULTADOS E ANALISES

3.1 Análises da Distribuição Espacial de Dose dos Planejamentos Radioterápicos

Nos TPS para 4MV, 6MV e Co-60, a dose de 100,1% foi atingida no POI (*point of interest*) referente ao isocentro (ISSO). A Fig.3 apresenta as seções tomográficas com representação das isodoses geradas no mesmo plano de corte



axial.

(A)

(B)

(C)

Figura 2. Planejamentos teleterápico de mama com dois campos opostos paralelos em sistemas de LINAC 4MV (A), 6MV (B) e bomba de Co-60 (C). Todos planejamentos com proteção inclusa, através de blocos de blindagem, filtro em cunha, preservando mesmo isocentro, orientação de gantry e características de campo e janela.

A Fig. 2 (B) apresenta imagem axial com isodoses geradas no planejamento para LINAC 6MV, tomado como referência e tendo aceitabilidade clínica. É possível observar a uniformidade das curvas de isodoses que se mantém simétricas em relação ao eixo imaginário que cruza o isocentro em direção ao mamilo. Observa-se um ponto quente na extremidade da mama esquerda, próximo ao mamilo.

As isodoses geradas no TPS para LINAC 4MV superpostas à mesma seção axial são apresentadas na Fig.2 (A). É possível observar uma variação nas geometrias das curvas de isodoses de 107% (azul), 105% (amarela), 100% (vermelha) em comparação a de 6MV. Também é notável uma variação na posição do ponto quente, com deslocamento para o lado externo. A ampliação das isodoses no TPS de 4MV, em relação ao 6MV, significa que tal exposição é mais quente que 6MV.

No TPS para Cobaltoterapia (Fig.2 (C)) é possível observar uma ampla variação na geometria das curvas de isodoses em comparação ao TPS de 6MV e de 4MV. Primeiramente, identifica-se que as curvas de isodose se afastam do mamilo. Este fato pode ser justificado pela maior eficiência da ação de atenuação do filtro em cunha e da blindagem devido a menor energia do feixe de Co-60. Também é observável notável mudança na forma das curvas de isodoses e mudança na posição do ponto quente, que se deslocam na direção lateral da mama esquerda. Observa-se que tal fato pode ser justificado pela assimetria de massa da mama, em relação ao isocentro. A maior massa na lateral permite maior deposição de dose e conseqüentemente deslocamento das isodoses e ponto quente da região medial para lateral. Este fato é mais observável no TPS de Co-60, e ligeiramente em 4MV. Pode ser observado também uma ampliação da área referente as isodoses, em especial 100%, implicando em uma exposição mais quente que 6MV, de forma

semelhante ao observado em 4MV. Como a fonte do feixe gerado na tangente externa está mais próximo da pele que a tangente interna, o recobrimento das isodoses são ligeiramente deslocadas para a lateral externa. Este efeito é observado no TPS para 4MV e Co-60, principalmente. Entretanto, não foi observado no TPS para 6MV que manteve-se simétrico.

Pode ser ressaltado que, no TPS para 4MV e Co-60, a distância ao isocentro à fonte foi de 80 cm; enquanto para 6MV foi 100 cm. Desta forma, as exposições em 4MV e Co-60 se tornam mais quentes que em 6MV, tendo como consequência ampliação das áreas sob as curvas de isodose.

Os achados demonstram que diferenças significativas são induzidas na distribuição de dose em função do espectro energético dos feixes de radiação.

Através da Tab. 3 pode-se confirmar que os volumes irradiados do PTV e OARs foram equivalentes para os três TPS. Entretanto, observa-se diferença entre a dose máxima e mínima no PTV para três distintos sistemas, sendo de 47% para LINAC 6MV f, 42% para LINAC 4MV e para 55% para cobalto.

Tabela 2. Comparação de doses entre os sistemas em relação aos órgãos e volume dos órgãos

<i>Sistema</i>	<i>Órgão</i>	<i>V</i>	<i>DMN.</i>	<i>DMX.</i>	<i>DMP</i>	<i>M</i>
6MV	PTV	279,7	63	110	103	102,3
	Pulmão	1515,3	0	98	0	2,2
	Coração	161	0	3	1	0,6
4MV	PTV	279,7	74	113	105	104,1
	Pulmão	1515,3	0	100	0	3,3
	Coração	161,6	0	5	1	1,2
Co-60	PTV	279,7	57	111	105	100,9
	Pulmão	1515,3	0	85	0	2,7
	Coração	161,6	0	4	1	0,9

DMN – dose mínima; DMX – dose máxima;

DMP – Dose mais provável; V – volume; M – média de dose.

O sistema de 4 MV apresentou maiores doses em relação aos sistemas de 6MV e Co-60. Este fato está associado ao SSD (*Soucer-skin distance*), que para 4MV e Co-60 foi de 80 cm, enquanto o de 6MV SSD foi de 100 cm. Em relação aos órgãos de riscos, o sistema de 4MV também apresentou a maior dose máxima e maior média de dose no coração e no pulmão, em relação aos outros dois sistemas.

Pode-se observar na Fig. 3 que no DVH de 6MV que o PTV recebeu 95% da dose de tratamento em um volume de 94,6%. No DVH de 4MV, o PTV recebeu 95% da dose de tratamento em um volume de 99%. E no DVH de Co-60, o PTV recebeu 95% da dose de tratamento em um volume de 80,5%. O DVH para o pulmão do sistema 6MV teve resposta de 20% da dose de tratamento em um volume de 2,1%. Para o sistema 4MV a resposta foi de 20% da dose de tratamento em um volume de 3,6%. O sistema de cobaltoterapia teve uma resposta de 20% da dose em 3,1% do volume. A porcentagem de dose no volume do coração teve os seguintes valores: Sistema LINAC 6MV, resposta de 0,8 % da dose em 10% do volume do órgão. Sistema LINAC 4MV, 1,7% da dose em 10% do volume, e sistema de cobaltoterapia 1,1% da dose em 10% do volume. Os valores de dose tolerância que foram utilizados como parâmetros para análise dos DVHs estão de acordo com estudos e dados sugeridos por Marks *et al.*, (2010).

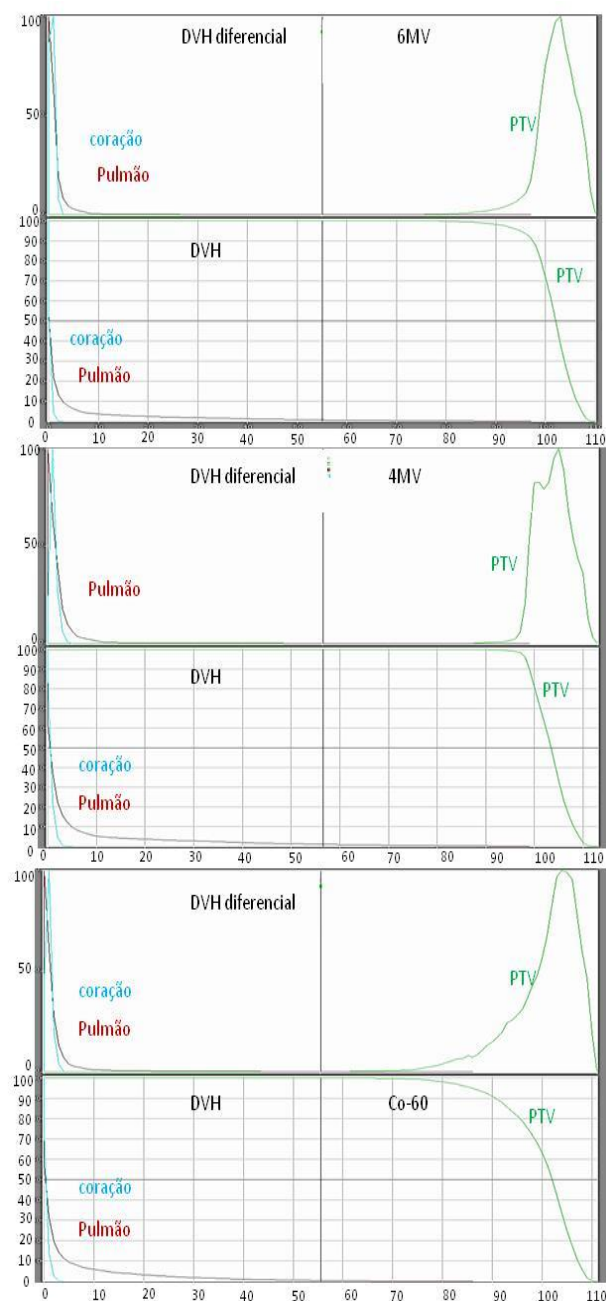


Figura 3. Histogramas dose-volume do LINAC 6MV, 4MV e Co-60.

3.2 Otimização do Planejamento em Cobaltoterapia para Atendimento dos Requisitos para PTV e OARs

Pode-se observar que o TPS para Co-60 não obteve parâmetros de restrição aceitáveis para tratamento, portanto necessitou de ajustes em seus parâmetros de planejamento. Com objetivo de adequá-lo foi realizado um aumento da abertura da blindagem de campo, o que levou consequentemente a um aumento no tamanho da janela de campo. Este ajuste foi necessário para corrigir o planejamento e deixá-lo dentro de um padrão aceitável de tratamento segundo dados de Marks *et al*, (2010) para limites de tolerância de dose no PTV e OARs. A justificativa para esse aumento da abertura da blindagem foi devido a uma baixa dose média no PTV devido ao não recobrimento do PTV. Este fato está associado ao perfil de dose na água gerado pelo sistema Co-60 que tem alta contribuição de radiação espalhada; enquanto esta contribuição para 4MV e 6MV não é tão relevante. Assim, a blindagem padrão primeiramente adotada nos três sistemas gerou a redução da dose em Co-60 devido a maior eficácia em eliminação da radiação espalhada, que culminou em uma dose muito abaixo do limite mínimo para tratamento da mama. Uma ampliação da abertura do bloco de blindagem permitiu aumentar a contribuição da radiação espalhada e consequentemente ampliar o recobrimento da isodose de 100%, referente ao PTV.

3.3 Análise da Distribuição das Isodoses após Aumento da abertura da blindagem em Cobaltoterapia

A Figura 4 demonstra a visão *Beam's Eye View* do planejamento não otimizado, campos interno e externo. Através da análise das distribuições das curvas de isodoses é possível notar uma variação significativa nas suas posições.

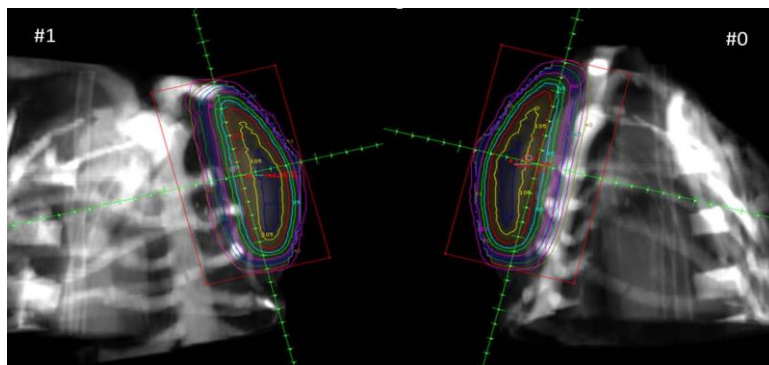


Figura 4. *Beam's Eye View* do planejamento para cobaltoterapia mostrando campo tangencial medial (#1) e lateral (#0) da mama esquerda e distribuição de isodoses do planejamento não otimizado.

Pode-se observar através da Fig.5 que o aumento da blindagem no planejamento de Co-60 teve como consequência um aumento na sua janela de campo, o que culminou a uma maior exposição dos órgãos de risco. No entanto, esse aumento da dose ainda ficou abaixo do limite de dose para OARs estabelecidos, atendendo aos requisitos de aceitabilidade do PTV e dos ORs. (ICRU,1993) O planejamento de 6MV não foi alterado, pois foi planejado seguindo requisitos para tratamento, levando em conta a tolerância de dose no PTV e nos OARs. (NOGUEIRA *et.al*, 2015 A). Seguindo o mesmo raciocínio o planejamento para 4MV também satisfaz os requisitos necessários para o tratamento na mama, não havendo necessidade de alterar os seus parâmetros anteriores.

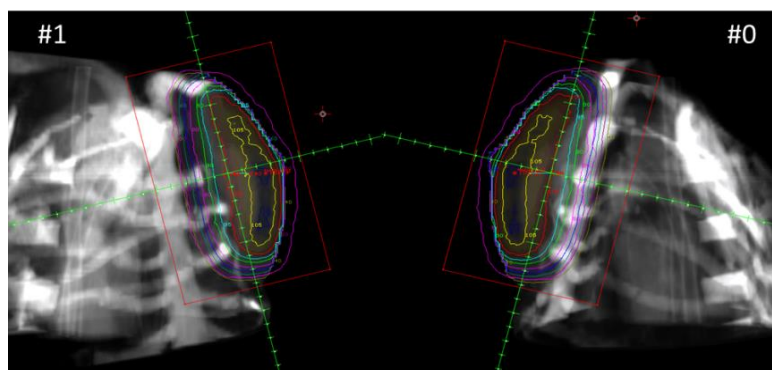


Figura 5. *Beam's Eye View* do planejamento para cobaltoterapia mostrando campo tangencial medial (#1) e lateral (#0) da mama esquerda e distribuição de isodoses após aumento de blindagem.

3.4 Análise da Distribuição Espacial de Dose e histogramas dose-volume (DVH) ajustáveis

Os histogramas dose-volume foram analisados e comparados após a realização de alterações no planejamento de Co-60. A figura 6 mostra o DVH do TPS para telecobalto (não alterado) e do planejamento (alterado). Os valores obtidos em relação à porcentagem de dose recebida no PTV foi para o TPS de Co-60 igual a 95% da DTP em 81% do volume do PTV, já para o TPS ajustado a dose foi igual a 95% do DTP em 96,4 % do volume PTV. Em relação aos OAR os valores de dose no pulmão para o planejamento não ajustado foi igual a 1,8% em 20% do volume, já o planejamento ajustado 3,2% de dose em 20% do volume. Os resultados obtidos para o coração foram igual a 0,8% de dose em 25% do volume no planejamento nãoajustado, o planejamento após ajustado foi igual a 1,7% de dose em 25% do volume. Os resultados mostram que apesar dos valores de dose nos OARs ter sido aumentado, o ganho na irradiação do PTV é significativo e justificável, uma vez que as doses nos OARs continuam abaixo do limite de tolerância de dose. (ICRU 50,1993)



Figura 6. Análise entre os resultados obtidos no DVH do planejamento não otimizado e planejamento otimizado para tratamento em aparelhos de Telecobaltoterapia.

4. CONCLUSÃO

Concluiu-se que existem significativas alterações nas distribuições espaciais de doses nos planejamentos radioterápicos realizados em condições equivalentes, isto é com parâmetros de planejamento constantes. Foi demonstrado que tais alterações foram induzidas pelos distintos espectros energéticos presentes nos sistemas de radioterapia de 4MV, 6MV e Co-60. Tais diferenças impõem necessários ajustes adicionais nos parâmetros do planejamento, em especial para Co-60, para que atendam a aceitabilidade clínica dos protocolos de tratamento em teleterapia de mama.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do *Conselho Nacional de Desenvolvimento da Pesquisa - CNPq* [456719/2013-0 REBRAT-SUS]; do CNPq/PIBIC pela cota de iniciação científica, da *Fundação de Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG - Universal* [FAPEMIG - 18565 FAPEMIG] e *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES*. Os autores agradecem a empresa MEVIS Informática Médica por disponibilizar as ferramentas computacionais essenciais para execução deste trabalho.

6. REFERENCIAS

- BIANCHINI, ADRIANO LUIZ BALTHAZAR. Elaboração e implementação de um programa para aplicação do método de Clarkson em radioterapia. 2011. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59135/tde-04042012-104915/>>. Acesso em: 2016-03-21.
- INSTITUTO NACIONAL DO CANCER (INCA). Disponível em: <http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?id=115>. Acesso em: Março, 2016.
- MARKS, L.B., YORKE, E.D., JACKSON, A., TENHAKEN, R.K., CONSTINE, L.S., EISBRUCH, A. 2010. Use of normal tissue complication probability models in the clinic. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 76(3), 10–19.
- MEVIS, Mevis Informática Médica, Disponível em: <<<http://www.mevis.com.br>>>. Acesso: 20 mar, 2016.
- NOGUEIRA, LUCIANA BATISTA; SILVA, HUGO LEONARDO LEMOS; DE CAMPOS, TARCÍSIO PASSOS RIBEIRO. Experimental dosimetry in conformal breast teletherapy compared with the planning system. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 97, p. 93-100, 2015 A.

- NOGUEIRA, L. B.; SILVA, HUGO LEONARDO LEMOS; SILVA, S. D.; CAMPOS, T. P. R. Skin Dosimetry in Breast Teletherapy on an Anthropomorphic and Anthropometric Phantom. Austin Publishing Group, 2015 B.
- ICRU, International Commission on Radiation. Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy Report No. 50, 1993.
- ICRU, International Commission on Radiation Units. Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy Report N° 62, 1999.
- POLI, MARIA ESMERALDA RAMOS. Definição do volume de planejamento do alvo (PTV) e seu efeito na radioterapia. 2007. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, University of São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-27112007-144824/>>. Acesso em: 2016-03-22
- SCAFF, L.A.M. Física da radioterapia. Editora: Sarvier, São Paulo, p. 235, 1997.
- SILVA, S. D.; NOGUEIRA, LB ; OLIVEIRA, M. A. ; DIAS, H. G. ; CAMPOS, T. P. R. BREAST DOSIMETRIC EVALUATION USING PHYSICAL THORACIC PHANTOM. In: X Congreso Regional Latinoamericano IRPA de Protección y Seguridad Radiológica, 2015, Buenos Aires. ?Radioprotección: Nuevos Desafíos para un Mundo en Evolución?, 2015.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho

DIFFERENCES BETWEEN BREAST PLANNING TO INDUCED BY ENERGY SPECTRA IN RADIATION THERAPY SYSTEMS LINAC 4MV, 6MV and Co-60

Jean Carlos de Aquino, jeancarlosaquino@outlook.com^{1,2}
Luciana B. Nogueira, lucibn@yahoo.com.br¹
Tarcísio P.R. Campos, tprcampos@pq.cnpq.br²

¹ Anatomy and Imaging Department, Medical School, Federal University of MinasGerais, Av. Alfredo Balena, 190, 30130100, Belo Horizonte, MG.

² Nuclear Engineering Department, Federal University of MinasGerais, Av. Antonio Carlos, 6627, 31270901 Belo Horizonte, MG.

Abstract. *The aim of this study was to reproduce and point out differences between breast radiotherapy planning in parallel-opposed protocols induced by different energy spectra. The proposed methodology was to simulate equivalently breast teletherapy planning in Linacs 4MV and 6MV and cobalt therapy irradiator. It was used as the standard protocols of the LINAC 6MV treatment planning, acceptable in clinical practice. In the three simulations the same parameters of TPS have been preserved: the phantom anatomy, distance source isocenter, screens, filters, directions, fields of windows, regions of interest (ROIs), organs at risk (ROs), and planning target-volume (PTVs), isocenter technique and the same total prescribed dose (DTP) in PMTCT 5040.0 cGy fractionated in 28 times of 180.0 cGy. For the analyzes were employed dose-volume histograms DVH (histogram Dose-volume), spatial distribution of doses represented by isodose in regions of interest (ROIs), organs at risk (ROs), PTV (Planning Target-volume) and characterization points hot generated. After identifying the differences between dose distributions in the breast induced by energy spectrum, where necessary, radiotherapy planning was adjusted according acceptability requirements for breast radiotherapy. In particular, in the TPS screening parameters for cobalt therapy have been modified. The results showed that the radiotherapy planning show differences significant in the dose distribution in the PTV and ROs, especially with different intensities and positioning of hot spots, induced by differences in the energy spectrum, regardless of whether satisfied DTP 100% PTV. The adjustment of the geometry of the shielding cobalt was required to meet the treatment standard. It is concluded that equipments with different energy spectra, with equivalent planning parameters, induce differences significant in dose distributions qualified for variations in geometric locations of hot spots and isodose, which requires adjustments in the planning parameters for these meet clinical requirements.*

Keywords: Breast radiotherapy, Radiotherapy planning, Co-60, LINAC 4MV, LINAC 6MV;