

# Radioterapia del Cáncer de Mama: Análisis de la Técnica de Terapia de Arco Volumétrico Híbrida

<https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2024v70n3.4711>

*Radiotherapy for Breast Cancer: Analysis of the Hybrid Volumetric Arc Therapy Technique*

Radioterapia para Câncer de Mama: Análise da Técnica de Arcoterapia Volumétrica Híbrida

Tatiane Mayla Domingos Prandi<sup>1</sup>; Herofen Zaias<sup>2</sup>; Charlene da Silva<sup>3</sup>; Juliana dos Santos Müller<sup>4</sup>; Patrícia Fernanda Dorow<sup>5</sup>

## RESUMEN

**Introducción:** La radioterapia es una de las estrategias de tratamiento del cáncer de mama. Con los avances en las modalidades de tratamiento radioterápico, como la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) y la terapia de arco volumétrico modulado (VMAT), se ha hecho posible administrar dosis de radiación al mismo tiempo que se reducen los márgenes de tratamiento y se mejora la conformación de la radiación en el volumen objetivo. **Objetivo:** Analizar cuantitativamente una técnica de radioterapia híbrida para el tratamiento del cáncer de mama que combina la tecnología VMAT con la 3D-CRT convencional, denominada terapia de arco volumétrico híbrida (H-VMAT). **Método:** Se adquirieron imágenes de TC de un maniquí antropomórfico para elaborar el plan. Se elaboraron cinco planes de tratamiento híbridos: H-VMAT 90% 3D-CRT y 10% VMAT, H-VMAT 80% 3D-CRT y 20% VMAT, H-VMAT 70% 3D-CRT y 30% VMAT, H-VMAT 60% 3D-CRT y 40% VMAT, H-VMAT 50% 3D-CRT y 50% VMAT. **Resultados:** El plan híbrido con mejores resultados dosimétricos fue H-VMAT 80% 3D-CRT y 20% VMAT, con excelente cobertura del volumen objetivo y dosis a los órganos de riesgo dentro de los límites, especialmente la mama contralateral. **Conclusión:** Las técnicas híbridas pueden utilizarse para cumplir con los índices de conformidad y homogeneidad de la dosis en el volumen objetivo establecidos por los protocolos internacionales, reduciendo al mismo tiempo la dosis en los órganos de riesgo.

**Palabras clave:** Radioterapia Conformacional; Radioterapia de Intensidad Modulada; Neoplasias de la Mama/radioterapia.

## ABSTRACT

**Introduction:** Radiotherapy is one of the treatment strategies for breast cancer. With advances in radiotherapy treatment modalities, such as intensity modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT), it has become possible to deliver radiation doses while reducing treatment margins and improving radiation conformation to the target volume. **Objective:** To quantitatively analyze a hybrid radiotherapy technique for breast cancer treatment that combines VMAT technology with conventional 3D-CRT, called hybrid volumetric arc therapy (H-VMAT). **Method:** CT images of an anthropomorphic simulator object were acquired to develop the plan. Five hybrid treatment plans were developed: H-VMAT 90% 3D-CRT and 10% VMAT, H-VMAT 80% 3D-CRT and 20% VMAT, H-VMAT 70% 3D-CRT and 30% VMAT, H-VMAT 60% 3D-CRT and 40% VMAT, H-VMAT 50% 3D-CRT and 50% VMAT. **Results:** The hybrid plan with the best dosimetric results was H-VMAT 80% 3D-CRT and 20% VMAT, with excellent coverage of the target volume and doses to organs at risk within the limits, especially the contralateral breast. **Conclusion:** Hybrid techniques can be used to meet the target volume dose conformity and homogeneity indexes established by international protocols, and reduce the dose to organs at risk at the same time. **Key words:** Radiotherapy, Conformal; Radiotherapy, Intensity-Modulated; Breast Neoplasms/radiotherapy.

## RESUMO

**Introdução:** A radioterapia é uma das estratégias de tratamento para a neoplasia de mama. Com o avanço das modalidades de tratamentos na radioterapia, como a radioterapia de intensidade modulada (IMRT) e a arcoterapia volumétrica modulada (VMAT), tornou-se possível entregar doses de radiação diminuindo as margens de tratamento e melhorando a conformação da radiação ao volume-alvo. **Objetivo:** Analisar quantitativamente uma técnica híbrida de radioterapia para tratamento de câncer de mama que combina a tecnologia da VMAT com a modalidade convencional de radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT), sendo denominada arcoterapia volumétrica híbrida (H-VMAT). **Método:** Para elaboração do plano, adquiriram-se imagens tomográficas de um objeto simulador antropomórfico. Foram elaborados cinco planos híbridos de tratamento: H-VMAT 90% 3D-CRT e 10% VMAT; H-VMAT 80% 3D-CRT e 20% VMAT; H-VMAT 70% 3D-CRT e 30% VMAT; H-VMAT 60% 3D-CRT e 40% VMAT; e H-VMAT 50% 3D-CRT e 50% VMAT. **Resultados:** O plano híbrido com melhores resultados dosimétricos foi o H-VMAT 80% 3D-CRT e 20% VMAT por apresentar uma excelente cobertura do volume-alvo e doses nos órgãos de risco dentro dos limites, com destaque para a mama contralateral. **Conclusão:** As técnicas híbridas podem ser utilizadas para atender aos índices de conformidade e homogeneidade da dose no volume-alvo estabelecidos pelos protocolos internacionais e, ao mesmo tempo, para que haja redução de dose nos órgãos de risco. **Palavras-chave:** Radioterapia Conformacional; Radioterapia de Intensidade Modulada; Neoplasias da Mama/radioterapia.

<sup>1</sup>CORB Radioterapia. Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica. Florianópolis (SC), Brasil. E-mail: tatimayla@gmail.com. Orcid id: <https://orcid.org/0009-0003-5161-1370>

<sup>2</sup>CORB Radioterapia. Itajaí (SC), Brasil. E-mail: herofenz@yahoo.com.br. Orcid id: <https://orcid.org/0009-0008-8136-0214>

<sup>3</sup>IFSC, Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica. Florianópolis (SC), Brasil. E-mail: charlene.silva@ifsc.edu.br. Orcid id: <https://orcid.org/0000-0003-0761-4358>

<sup>4</sup>IFSC, Curso Superior de Tecnologia em Radiologia. Florianópolis (SC), Brasil. E-mails: juliana.muller@ifsc.edu.br; patricia@ifsc.edu.br. Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-8593-304X>; Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-9036-8356>

**Dirección para correspondencia:** Tatiane Mayla Domingos Prandi. Rua Cesário Chaves, 222, aptos. 1202-3 – Fazenda. Itajaí (SC), Brasil. CEP 88302-350. E-mail: tatimayla@gmail.com



## INTRODUCCIÓN

Según el Instituto Nacional del Cáncer (INCA), el cáncer de mama está entre las mayores incidencias de cáncer en el mundo y es la causa principal de muerte entre mujeres. La estimación es de aproximadamente 2,3 millones casos nuevos de cáncer de mama, sumando el 11,7% de los casos globales. En el Brasil, se esperan 73 610 nuevos casos para cada año del trienio 2023-2025<sup>1</sup>. La radioterapia es una de las estrategias de tratamiento para la neoplasia de mama, pudiendo realizarse en toda la mama o en una parte de ella (después de tumorectomía), en la pared torácica (después de mastectomía) y en los ganglios regionales<sup>2</sup>. La definición del plan radioterapéutico varía de acuerdo con la anatomía del paciente, y también con la lateralidad de la enfermedad<sup>3</sup>, y cada una de las técnicas de emisión de dosis disponible exige una elaboración específica.

## MÉTODO

Estudio exploratorio analítico con un enfoque cuantitativo. Para simular los planes de tratamiento sobre las técnicas de terapia de arco volumétrico híbrida (H-VMAT), se realizaron imágenes tomográficas a partir de un *phantom* antropomórfico (cedido por el sector de radioterapia) con forma elíptica para simular la anatomía de un tronco humano de estatura promedio, o sea, la estructuración del trabajo se desarrolló de manera que no hubo necesidad de análisis por el Comité de Ética en Pesquisa (CEP), de acuerdo con la Resolución n.º 510/2016<sup>4</sup> del Consejo Nacional de Salud (CNS).

Las adquisiciones de las imágenes tomográficas fueron realizadas en cortes axiales con espaciado de 1,25 mm (aparato *hi-speed* de la marca GE *multislice* de 64 canales). Las imágenes DICOM fueron ingresadas en el sistema de planeamiento Eclipse<sup>5</sup> (v.15.6 de Varian, calculado con el algoritmo anisotrópico analítico – AAA).

A continuación, se realizaron los delineamientos de los órganos de riesgo (OAR) y del volumen objetivo de planeamiento (PTV), siguiendo las recomendaciones del atlas de anatomía del *Radiation Therapy Oncology Group* (RTOG)<sup>6</sup>.

Tanto el volumen objetivo clínico (CTV), el cual abarcó al tejido mamario y la pared torácica, como el PTV fueron representados por la mama izquierda en este trabajo. Buscando facilitar el delineamiento de la mama y las angulaciones del *gantry*, se delineó una línea medial en la región esternal. Los siguientes OAR fueron delineados: pulmón ipsilateral, pulmón contralateral, medula espinal, mama contralateral, esófago, costillas y área cardíaca.

Finalmente, la dosis de prescripción establecida fue el régimen de fraccionamiento convencional de 45 Gy en

25 fracciones de 1,8 Gy/día. Para los planes de terapia de arco volumétrico modulado (VMAT), se delineó una estructura auxiliar delimitadora para las variaciones del *gantry* denominada “anillo” (en color verde) con la finalidad de reducir la dosis en el pulmón ipsilateral. Los planes fueron calculados para el tratamiento en el acelerador lineal *TrueBeam® STx* HD (láminas de 2,5 mm en la región del isocentro), con energía de 6 MV, tasa de dosis de 600 MU/min.

Para el estudio híbrido propuesto en el tratamiento de mamas, se evaluaron cinco planes de tratamiento con las siguientes proporciones para cada técnica: H-VMAT<sub>90/10</sub> (90% radioterapia conformacional tridimensional – 3D-CRT y 10% VMAT), H-VMAT<sub>80/20</sub> (80% 3D-CRT y 20% VMAT), H-VMAT<sub>70/30</sub> (70% 3D-CRT y 30% VMAT), H-VMAT<sub>60/40</sub> (60% 3D-CRT y 40% VMAT), H-VMAT<sub>50/50</sub> (50% 3D-CRT y 50% VMAT). Los mejores planes obtenidos fueron comparados aisladamente con las técnicas 3D-CRT y VMAT. Todos los planes con la técnica de VMAT fueron realizados con cuatro semiarcos, teniendo ellos en la configuración las siguientes angulaciones: 1º arco con angulaciones en el sentido horario de 306° a 45°, 2º arco con sentido horario de 45° a 150°, 3º arco con angulaciones en sentido antihorario de 150° a 45° y el 4º arco con angulación en sentido antihorario de 45° a 306°, isocentro posicionado entre los arcos costales, utilizándose arcos bloqueados con la finalidad de retirar la divergencia del haz de radiación en el volumen del pulmón ipsilateral. En todos los planes con la técnica 3D-CRT, se usaron filtros compensadores, campos paralelos y opuestos con angulaciones de 306° y 133°.

Para la determinación de la angulación del *gantry*, las técnicas se basaron en la anatomía del objeto simulador, evaluando principalmente ángulos de entrada y salida en la mama objetivo y sus efectos en el pulmón ipsilateral, mama contralateral y área cardíaca. Se destaca que la técnica *field-in-field* no fue utilizada en el plan 3D-CRT con el objetivo de mantener la coherencia del uso de los filtros en la modulación de la técnica híbrida.

## RESULTADOS

Para las combinaciones de técnicas propuestas en este trabajo, la contribución de la dosis prescrita para cada técnica se presenta en la Tabla 1.

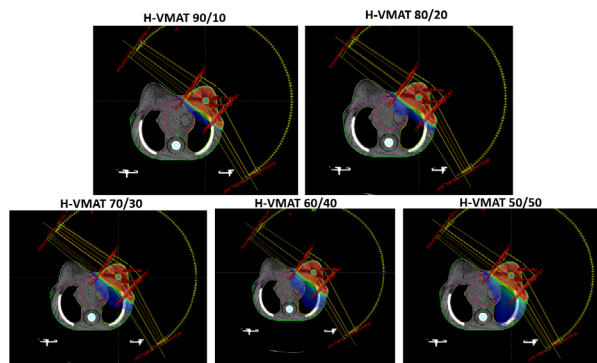
En la Figura 1, es posible observar las distribuciones y conformaciones de las dosis en los planes híbridos, es decir, los respectivos porcentajes parciales referentes a los planes 3D-CRT y VMAT en cada planeamiento, originando el plan denominado híbrido (H-VMAT). Al analizar los planeamientos, se observa que, en el primero, el 90% del plan utilizado fue del plan 3D-CRT y 10%

**Tabla 1.** Proporciones de los planes H-VMAT juntamente con las dosis prescritas

Proporciones del plan	Dosis prescrita (cGy)	Técnica
H-VMAT <sub>90/10</sub>	162	3D-CRT
	18	VMAT
H-VMAT <sub>80/20</sub>	144	3D-CRT
	36	VMAT
H-VMAT <sub>70/30</sub>	126	3D-CRT
	54	VMAT
H-VMAT <sub>60/40</sub>	108	3D-CRT
	72	VMAT
H-VMAT <sub>50/50</sub>	90	3D-CRT
	90	VMAT

**Leyendas:** H-VMAT = terapia de arco volumétrico híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = terapia de arco volumétrico modulado.

del plan VMAT, en el segundo el porcentaje de 80% de la modalidad 3D-CRT y 20% de la contribución del plan de VMAT, en el tercero el porcentaje de 70% con 3D-CRT y 30% con el plan de VMAT, en el cuarto el porcentaje de 60% de la modalidad 3D-CRT y 40% de la contribución del plan de VMAT, y por último una proporción de 50% de la técnica VMAT y 50% de la técnica 3D-CRT.



**Figura 1.** Presentación de la distribución de la dosis en las proporciones de los planes híbridos

**Leyenda:** H-VMAT = terapia de arco volumétrico híbrida.

Entre los criterios de evaluación de calidad de los planes, se encuentra el índice de homogeneidad (IH) de las distribuciones de dosis, el cual se recomienda que se aproxime a cero<sup>7</sup>, y el índice de conformidad (IC) de las distribuciones de dosis, que debe estar entre 0,95 y 2,0<sup>8,9</sup>. En la Tabla 2, se muestran los valores de IH y IC obtenidos. Los valores de IH presentaron una variación del 5% al 6% en el volumen objetivo, lo que sugiere una correlación de uniformidad aceptable<sup>7</sup>. Los valores de IC obtenidos presentaron variación entre 1,117 y 1,235, los cuales califican a todos los planes como aceptables conforme con la ICRU83<sup>7</sup>.

Con base en los hallazgos, se concluye que los planes híbridos H-VMAT presentan resultados mejores que las técnicas aisladas como VMAT, principalmente con relación a la dosis en los OAR. A medida que se aumenta el porcentaje de contribución de la técnica de VMAT hasta un límite del 50%, no se observa cambios significativos en  $D_{95\%}$  y  $D_{media}$  sobre el volumen objetivo<sup>10,11</sup>.

La evaluación dosimétrica del plan de tratamiento contiene un análisis cuantitativo de los OAR. La descripción de las restricciones de dosis entre las variaciones de los planes H-VMAT se muestra en la Tabla 3. Los planes híbridos que presentaron mejores restricciones de dosis en los OAR fueron H-VMAT<sub>90/10</sub>, seguido del plan H-VMAT<sub>80/20</sub>. Estos planes ofrecieron beneficios principalmente para la mama contralateral, con dosis media inferior a 4 Gy, garantizando una cobertura del volumen objetivo satisfactoria, considerando  $D_{95\%}$  de 46,9 Gy para H-VMAT<sub>90/10</sub> y 46,3 Gy para H-VMAT<sub>80/20</sub>.

Para el pulmón ipsilateral, considerando las restricciones, presentó una contribución en el volumen del pulmón ipsilateral del 14,24% por encima de lo tolerable, es decir,  $V_{5Gy}$  con el 57,12%, no concordando con la recomendación del RTOG<sup>6,10</sup> que establece  $V_{5Gy}$  en hasta el 50% del volumen del pulmón ipsilateral. Para las demás proporciones de los planes de H-VMAT, se logró éxito en las restricciones pertinentes a la preservación de los OAR. Dentro de los planes aceptables con relación a

**Tabla 2.** Análisis dosimétrico del volumen objetivo con cada proporción

Volumen objetivo	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	H-VMAT 70/30	H-VMAT 60/40	H-VMAT 50/50	3D-CRT FILTRO	VMAT
$D_{95\%}$ (Gy)	46,9	46,3	46,3	46,3	46,3	45	45
$D_{media}$ (Gy)	48,4	47,5	47,5	47,5	47,6	46,6	46,5
$D_{máx.}$ (Gy)	50,2	48,8	48,8	49,2	49,4	48,1	48,3
Curva de prescripción	100	100	100	100	100	100	100
IC	1,23	1,16	1,17	1,17	1,11	1,03	1,18
IH	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06

**Leyendas:** H-VMAT = terapia de arco volumétrico híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = terapia de arco volumétrico modulado; IC = índice de conformidad; IH = índice de homogeneidad; D = dosis.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições, desde que o trabalho original seja corretamente citado.

los OAR, el valor de  $V_{5Gy}$  para el pulmón ipsilateral varió del 11,57% (H-VMAT<sub>90/10</sub>) hasta el 45% (H-VMAT<sub>60/40</sub>), sugiriendo que el aumento de la contribución de la técnica VMAT en el plan H-VMAT tiene una relación directa con aumento de dosis bajas en el pulmón ipsilateral.

En relación con la dosis en el área cardíaca, la técnica que presentó mejor beneficio fue la de H-VMAT<sub>90/10</sub>. La irradiación parcial del área cardíaca con dosis de 25 Gy debe ser menor del 10% ( $V_{25Gy}$ ), garantizando así que el riesgo de mortalidad cardíaca sea menor del 1%<sup>12</sup>. Se destaca que todos los planes presentaron valores significativamente inferiores al límite. Basado en los valores presentados en la Tabla 3, el plan H-VMAT<sub>50/50</sub> con valor de dosis media para el área cardíaca de 5,47 Gy fue el único que no alcanzó el límite de restricción de dosis media para este órgano, que es de 4,0 Gy según el RTOG 1005<sup>6</sup>.

El RTOG 1005 determina que la dosis máxima de la mama contralateral no exceda los 3,10 Gy y el volumen de  $V_{3Gy}$  no sobrepase el 5%<sup>6</sup>. El plan de H-VMAT en las proporciones de H-VMAT<sub>50/50</sub> no respetó las restricciones de la mama contralateral, y la dosis máxima alcanzó 5,8 Gy. Las proporciones de los planes H-VMAT<sub>90/10</sub> y H-VMAT<sub>80/20</sub> presentaron la mejor reducción de dosis en la mama contralateral. Se observa que la dosis recomendada de  $V_{3Gy}$  fue satisfactoria para todos los planes híbridos.

La técnica híbrida H-VMAT (H-VMAT<sub>90/10</sub> y H-VMAT<sub>80/20</sub>) puede ser utilizada principalmente en pacientes con neoplasias de mama izquierda, debido a la reducción de la dosis media en el corazón y una mejora

significativa de la cobertura del PTV. La combinación entre VMAT y 3D-CRT permite una preservación de la dosis media en el área cardíaca, como también una reducción en la dosis media del pulmón contralateral en comparación con las técnicas aisladas. Además, ofrece una entrega de dosis sin el aumento de las dosis bajas en tejidos adyacentes cuando se compara con las técnicas aisladas<sup>13</sup>. En la Tabla 4, se observa la dosis en los OAR en las técnicas aisladas.

Se puede afirmar que la combinación entre VMAT y 3D-CRT permite una preservación de la dosis media en el área cardíaca como también una reducción en la dosis del pulmón contralateral. Este hecho reduce las toxicidades tardías, como enfermedades cardíacas y neumonitis, así como los riesgos de desarrollar indirecta y/o consecuentemente neoplasias provocadas por radiación, tanto en la mama contralateral como en los pulmones<sup>14</sup>. El plan híbrido entre VMAT y 3D-CRT ofrece también una entrega de dosis sin el aumento de las dosis bajas en tejidos adyacentes cuando se compara con las técnicas aisladas. El plan híbrido ofrece la ventaja de facilidad de la modulación y ser más ágil en la retirada de puntos calientes.

## DISCUSIÓN

Hay un beneficio inmenso del uso de la técnica híbrida en otras neoplasias, como en la región de la próstata, mama bilateral, pulmón, cavidad oral y esófago<sup>15</sup>. Aunque, en los tratamientos de mama, se recomiendan ponderaciones que tengan una mayor contribución de la dosis prescrita en

Tabla 3. Evaluación dosimétrica de las proporciones de VMAT combinada con 3D-CRT

OAR	Parámetros	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	H-VMAT 70/30	H-VMAT 60/40	H-VMAT 50/50
Pulmón contralateral	D <sub>máx.</sub> (Gy)	9,9	15,5	2,3	2,5	2,6
	V <sub>20Gy</sub> (%)	0	0	0	0	0
	V <sub>10Gy</sub> (%)	0	0	0	0	0
	V <sub>5Gy</sub> (%)	0	0	0	0	0
Pulmón ipsilateral	D <sub>máx.</sub> (Gy)	44,5	43,9	44	44,6	44,6
	V <sub>20Gy</sub> (%)	2,4	2,1	2,6	3,5	4,8
	V <sub>10Gy</sub> (%)	4,4	5,8	8,5	14,8	19,8
	V <sub>5Gy</sub> (%)	11,5	18,2	27	45	57,1
Área cardíaca	D <sub>media</sub> (Gy)	2,7	3,9	4,6	5,3	5,4
	V <sub>25Gy</sub> (%)	0,03	0,04	0,06	0,11	0,2
	V <sub>10Gy</sub> (%)	0,15	0,29	0,81	1,4	3,8
	D <sub>media</sub> (Gy)	3,5	3,9	5,5	6,1	5,8
Mama contralateral	V <sub>3Gy</sub> (%)	0	0	0	0	0
	V <sub>1,8Gy</sub> (%)	0	0	0	0	0

Leyendas: OAR = órgano de riesgo; H-VMAT = terapia de arco volumétrico híbrida; D = dosis; V = volumen.

Tabla 4. Comparación dosimétrica de las técnicas aisladas

OAR	Parámetro	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	3D-CRT FILTRO	VMAT
Pulmón contralateral	D <sub>máx.</sub> (Gy)	9,9	15,5	11,9	8,4
	V <sub>5Gy</sub> (%)	0	0	0	3,3
Pulmón ipsilateral	D <sub>máx.</sub> (Gy)	44,5	43,9	42,3	43,8
	V <sub>20Gy</sub> (%)	2,4	2,1	2,38	15,7
	V <sub>10Gy</sub> (%)	4,4	5,8	3,78	43,7
Área cardíaca	V <sub>5Gy</sub> (%)	11,5	18,2	6,95	75,3
	D <sub>media</sub> (Gy)	2,7	3,9	1,13	13
	V <sub>25Gy</sub> (%)	0,03	0,04	0,03	5,7
Mama contralateral	D <sub>media</sub> (Gy)	3,5	3,9	3,6	4,5
	V <sub>3Gy</sub> (%)	0	0	0	3

**Leyendas:** OAR = órgano de riesgo; H-VMAT = terapia de arco volumétrico híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = terapia de arco volumétrico modulado; D = dosis; V = volumen.

los tratamientos tridimensionales y menores porcentajes en tratamientos de radioterapia de intensidad modulada (IMRT) y de VMAT<sup>14</sup>.

Los resultados obtenidos están de acuerdo con aquellos publicados por Ramasubramanian *et al.*<sup>14</sup>, en los cuales las configuraciones de planes que presentaron una entrega de dosis más satisfactoria fueron los planes híbridos que tienen una mayor contribución de la dosis prescrita en los tratamientos tridimensionales y menores porcentajes en tratamientos con VMAT.

La técnica híbrida H-VMAT puede ser utilizada principalmente en pacientes con neoplasias de mama izquierda, debido a la reducción de la dosis en el corazón y una mejora significativa de la cobertura del PTV. Así como las otras técnicas, en la técnica H-VMAT, el tratamiento puede ser controlado por *gating* y/o *deep inspiration breath-hold* (DIBH), ayudando en el control respiratorio y disminuyendo la exposición del área cardíaca<sup>16</sup>. Con las técnicas de respiración, es posible la reducción de la dosis en el área cardiopulmonar sin comprometer la dosis prescrita en el volumen objetivo. Una inspiración profunda elevará la pared torácica y expandirá el volumen de los pulmones, empujando así al corazón hacia la parte posterior y aumentando la distancia del volumen objetivo<sup>16</sup>.

Los criterios de restricciones de la evaluación de la mama contralateral deben tener en consideración que existe la probabilidad de que la radiación cause un cáncer secundario en la mama contralateral, los denominados efectos estocásticos<sup>17</sup>. La preocupación es elevada para pacientes jóvenes diagnosticadas con cáncer de mama, y esta factibilidad puede ser elevada en pacientes jóvenes conforme con la posibilidad de ocurrencia de un segundo cáncer debido a las alteraciones genéticas en el ADN causadas por la radiación<sup>12</sup>. Por lo tanto, deben usarse todos los recursos para minimizar las toxicidades crónicas y tardías<sup>13</sup>.

Se destaca que los resultados dosimétricos son casi totalmente satisfactorios para todas las técnicas que, aisladas o no, están relacionadas a la anatomía favorable del objeto simulador antropomórfico. Aunque se sabe en la práctica diaria que existen dificultades implícitas que imposibilitarían obtener resultados satisfactorios utilizando solamente la técnica 3D-CRT.

## CONCLUSIÓN

Considerando el análisis dosimétrico de las proporciones de la H-VMAT, se concluye que este método de planeamiento puede proporcionar una excelente conformidad y homogeneidad de la dosis en el volumen objetivo. Las proporciones de H-VMAT que cumplieron con los requisitos para un plan satisfactorio fueron las de H-VMAT<sub>90/10</sub> y H-VMAT<sub>80/20</sub> para el objeto simulador utilizado.

Por lo tanto, se sugiere, para investigaciones futuras, el análisis de las dosis en casos clínicos, principalmente con su uso en pacientes con anatomía desfavorable o pacientes que necesitan de tratamiento en la cadena ganglionar mamaria interna.

La combinación entre VMAT y 3D-CRT permite una preservación de la dosis media en el área cardíaca como también una reducción en la dosis del pulmón contralateral. Además, esta técnica ofrece una entrega de dosis sin el aumento de las dosis bajas en tejidos adyacentes cuando se compara con la técnica aislada de VMAT.

## AGRADECIMIENTOS

Al servicio de radioterapia CORB en Blumenau. En especial al Departamento de Física Médica, bajo supervisión del Físico Médico Herofen Zaias, que desarrolló el simulador antropomórfico utilizado en el estudio.





## APORTES

Tatiane Mayla Domingos Prandi, Herofen Zaias y Patrícia Fernanda Dorow contribuyeron en la concepción y en el planeamiento del estudio, en el análisis e interpretación de los datos; en la redacción y revisión crítica. Charlene da Silva y Juliana dos Santos Müller contribuyeron en el análisis de los resultados; en la redacción y revisión crítica. Todos los autores aprobaron la versión final a publicarse.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Nada a declarar.

## FUENTES DE FINANCIAMIENTO

No hay.

## REFERENCIAS

1. Instituto Nacional de Câncer. Estimativa 2023 incidência de câncer no Brasil [Internet]. Rio de Janeiro: INCA; 2022. [acesso 2023 dez 20]. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document/estimativa-2023.pdf>
2. Waks AG, Winer EP. Breast cancer treatment: a review. *JAMA*. 2019;321(3):288-300. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2018.19323>
3. Bradley JA, Mendenhall NP. Novel radiotherapy techniques for breast cancer. *Annu Rev Med*. 2018;69(1):277-88. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-med-042716-103422>
4. Conselho Nacional de Saúde (BR). Resolução n° 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana, na forma definida nesta Resolução [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2016 maio 24 [acesso 2024 jan 25]; Seção I:44. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510\\_07\\_04\\_2016.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html)
5. Eclipse Treatment Planning System [Internet]. Versão 15.6. Palo Alto: Varian Medical Systems; 2023. [acesso 2024 jan 25]. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/products/radiotherapy/treatment-planning/eclipse>
6. Vicini FA, Winter K, Freedman GM, et al. NRG RTOG 1005: a phase III trial of hypo fractionated whole breast irradiation with concurrent boost vs. conventional whole breast irradiation plus sequential boost following lumpectomy for high risk early-stage breast cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2022;114(Sup3):S1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.07.2320>
7. Hodapp N. Der ICRU-Report 83: prescribing, recording, and reporting intensity-modulated photon-beam therapy (IMRT). *Strahlenther Onkol*. 2012;188(1):97-100. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-011-0015-x>
8. Lopes JS, Leidens M, Razera RAZ, et al. Avaliação da homogeneidade e conformidade de dose em planejamentos de IMRT de próstata em radioterapia. *Rev Bras Fis Med*. 2016;9(3):34-7. doi: <https://doi.org/10.29384/rbfm.2015.v9.n3.p34-37>
9. Freedman GM, White JR, Arthur DW, et al. Accelerated fractionation with a concurrent boost for early stage breast cancer. *Radiother Oncol*. 2013;106(1):15-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2012.12.001>
10. Jöst V, Kretschmer M, Sabatino M, et al. Heart dose reduction in breast cancer treatment with simultaneous integrated boost. *Strahlenther Onkol*. 2015;191(9):734-41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-015-0874-7>
11. Bahrainy M, Kretschmer M, Jöst V, et al. Treatment of breast cancer with simultaneous integrated boost in hybrid plan technique. *Strahlenther Onkol*. 2016;192(5):333-41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-016-0960-5>
12. Beaton L, Bergman A, Nichol A, et al. Cardiac death after breast radiotherapy and the QUANTEC cardiac guidelines. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2019;19:39-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2019.08.001>
13. Dumane VA, Lo YC, Green S. Combination of volumetric-modulated arc therapy (VMAT) and partially wide tangents (PWT) for improved organ sparing in a left-si. *Appl Rad Oncol*. 2018;7(2):31-38.
14. Ramasubramanian V, Balaji K, Balaji SS, et al. Hybrid volumetric modulated arc therapy for whole breast irradiation: a dosimetric comparison of different arc designs. *La radiologia medica*. 2019;124(6):546-54.
15. Liu H, Chen X, He Z, et al. Evaluation of 3D-CRT, IMRT and VMAT radiotherapy plans for left breast cancer based on clinical dosimetric study. *Comput med imaging graph*. 2016;54:1-5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2016.10.001>
16. Jensen CA, Roa AMA, Johansen M, et al. Robustness of VMAT and 3DCRT plans toward setup errors in radiation therapy of locally advanced left-sided breast cancer with DIBH. *Phys Med*. 2018;45:12-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.11.019>
17. Brownlee Z, Garg R, Listo M, et al. Late complications of radiation therapy for breast cancer: evolution in techniques and risk over time. *Gland Surg*. 2018;7(4):371-8. doi: <https://doi.org/10.21037/2Fgs.2018.01.05>

Recebido em 13/5/2024  
Aprovado em 12/6/2024

