



Ministério da Saúde
Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Fiocruz
Coordenação de Ensino- Área de Ensino Técnico
Curso de Educação Profissional Técnica de Nível Médio
Especialização em Radioterapia



ALINE CRISTINA DE CARVALHO

**IGRT Radioterapia Guiada por Imagem: A Relevância da tecnologia
para os Tratamentos Radioterápicos**

Rio de Janeiro

2022

**IGRT Radioterapia Guiada por Imagem: A Relevância da tecnologia para
os Tratamentos Radioterápicos**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Nacional de
Câncer José Alencar Gomes da
Silva.

Orientador: Leonardo Peres da Silva

Rio de Janeiro

2022

**IGRT Radioterapia Guiada por Imagem: A Relevância da tecnologia para
os Tratamentos Radioterápicos**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Nacional de
Câncer José Alencar Gomes da
Silva.

Avaliado em ___ / ___ / ___

Banca Examinadora:

Leonardo Peres da Silva
(Orientador)

Dr^a Ariana Teixeira Reis Braga
(Avaliador INCA)

Alexandre Moreno
(Avaliador EPSJV/FIOCRUZ)

**Rio de Janeiro
2022**

Dedico este trabalho em especial à minha querida mãe, Vera Lúcia, e a Zulma Casquilha, Técnica em Radioterapia e coordenadora do curso, por ter sido uma mãe para nós os discentes, como ela mesma dizia ser, e tinha toda razão, gratidão eterna. Á minha mãe por termos superado juntas as adversidades que surgiram nesse período, foram os dias que eu mais precisei de ti mãe, e sempre com muita fé, ela esteve ao meu lado, apoiando de todas as maneiras possíveis, jamais esquecerei. Ela pode até não saber, mas é meu maior exemplo de vida e persistência, agradeço a Deus por seus ensinamentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permite todas as coisas, a ELE que é o Deus do impossível, peço que abençoe a todos nós, principalmente aquelas pessoas que se encontram na luta contra o câncer. Agradeço ao meu orientador Dr Mestre Físico Médico Leonardo Peres, por ter se mostrado prestativo e solícito, perante as minhas dificuldades para elaboração deste. À orientadora e coordenadora de curso Dr^a Ariana Teixeira Reis Braga e a Zulma Santos Casquilha, pelo exemplo de profissionalismo, e por todos os ensinamentos de cunho técnico ético e pessoal que foram extremamente necessários, levo todos para vida.

Ao corpo Clínico/ Residentes médicos e físicos do setor Radioterapia INCA HCI, pelas aulas ministradas com grande zelo, a todos os profissionais com quem tive contato e passaram a diante o conhecimento, e as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram sem obrigação nenhuma, mas por serem extremamente comprometidas com a profissão não hesitaram em fazê-lo, vocês foram jóias raras que encontrei na caminhada, são essas: Kênnia Vieira de Souza, Symone Maia, Francisco Fábio de Sousa, Anderson Senna, Ricardo Duarte da Silva, Edilma da Silva Ferreira, Andrea Azevedo, Karoline Marques Torres, Jorge Alonso Macanbira, Mariana Ilara, Manassés Freitas, Juliana da Cunha e Marcelo Vieira Leite. A esses profissionais dedicados o meu muito obrigado por terem feito parte da minha formação profissional.

A toda minha família maravilhosa, ao meu companheiro de vida Fabiano Dutra e filhos abençoados, a saudade foi grande, Barbaridade! Mas a mamãe está voltando, amo vocês. E aos meus colegas de curso, mesmo sem saber nós nos apoiamos uns aos outros num dos momentos mais difíceis dessa trajetória obrigada por não terem desistido do nosso Sonho.

De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos antes
de terminar...
Façamos da interrupção um caminho novo...
Da queda, um passo de dança...
Do medo, uma escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro!

Fernando Sabino

RESUMO

CARVALHO, Aline Cristina de, **IGRT Radioterapia Guiada por Imagem: A relevância da tecnologia para os tratamentos radioterápicos**. 2022. 81 f. Monografia. (Especialização em Radioterapia) – Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, Rio de Janeiro, 2022.

Introdução: É de extrema importância garantir a precisão na entrega de dose de radiação nos tratamentos radioterápicos. Para reduzir erros e aumentar a acurácia são necessárias verificações no posicionamento do paciente, e para isso dispomos de uma tecnologia aprimorada, que compõe sistemas de aquisição de imagem conhecida como Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), que realiza imagens *na* sala de tratamento *in-room*, com objetivo de melhorar a precisão e a acurácia na entrega de dose, consequentemente a redução da irradiação nos tecidos sadios. **Objetivos: Objetivo Geral:** A finalidade deste trabalho foi evidenciar a relevância da tecnologia de Radioterapia Guiada por Imagem para os tratamentos radioterápicos, assim como a melhora na qualidade de vida dos pacientes oncológicos. **Objetivos Específicos:** Demonstrar as diferentes modalidades e equipamentos que realizam IGRT já consolidadas nos serviços de radioterapia: (kV/kV, Mv/Mv, CBCT, e US. Identificar o IGRT como ferramenta para a realização dos tratamentos hipofractionados, os níveis de toxicidade, os resultados terapêuticos e sua resposta à radiosensibilidade. Descrever o papel do técnico em Radioterapia com o uso da tecnologia IGRT no posicionamento diário do paciente e a redução de erros aleatórios e sistemáticos do tratamento. **Materiais e métodos:** Uma Revisão de Literatura Narrativa de evidência atual, com publicações dos últimos cinco anos, os textos foram obtidos no Portal Regional da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS Regional) através de vocabulário controlado dos Descritores em Ciência da Saúde (DeCS/ MesSH) e do Centro Latino Americano de Ciências da Saúde (BIREME). Também foi realizada leitura de quatro bibliografias da área médica e técnica em radioterapia, com os respectivos capítulos de interesse e uma Dissertação para Mestrado e Pós-Graduação em Proteção Radiológica, todos os artigos utilizados mostraram-se relevantes para a pesquisa, exceto os que não se encontravam dentro do período de cinco anos. Por esse motivo foram nomeados dentro dos critérios de exclusão. **Conclusão:** Conclui-se que o IGRT não é uma técnica de tratamento, mas auxilia adequadamente em todo o processo da aplicação por radioterapia externa, com maior acurácia e precisão. À medida que essa tecnologia mostra-se cada vez mais relevante entendemos que o IGRT sozinho não realiza tudo, são necessários protocolos adequados para cada sítio de tratamento. O papel do técnico é de suma importância para que todo tratamento seja executado conforme o planejado de forma a promover a reprodutibilidade diariamente necessária no tratamento do paciente.

Palavras-chave: Radioterapia Guiada por Imagem; Marcadores fiduciais, Erros randômicos e sistemáticos e Redução da Toxicidade no tratamento do câncer.

ABSTRACT

CARVALHO, Aline Cristina de, **IGRT Image Guided Radiotherapy: The relevance of technology for radiotherapy treatments.** 2022. 81 f. Monography. (Specialization in Radiotherapy) – José Alencar Gomes da Silva National Cancer Institute, Rio de Janeiro, 2022.

Introduction: It is extremely important to ensure the precision in the delivery of radiation dose in radiotherapy treatments. To reduce errors and increase accuracy, patient positioning checks are necessary, and for that we have an improved technology, which comprises image acquisition systems known as Image Guided Radiotherapy (IGRT), which performs images in the indoor treatment room, in order to improve the precision and accuracy of dose delivery. With IGRT, the physician can reduce the margins given to the clinical volume of the disease, known as (CTV), to form the target planning volume (PTV) and consequently the reduction of irradiation in healthy tissues. **Objectives: General Objective:** The purpose of this work was to highlight the relevance of Image Guided Radiotherapy technology for radiotherapy treatments, as well as the improvement in the quality of life of cancer patients. **Specific Objectives:** Demonstrate the different modalities and equipment that perform IGRT already consolidated in radiotherapy services: (kV/kV, Mv/Mv, CBCT, and US. Identify IGRT as a tool for performing hypofractionated treatments, levels of toxicity, the therapeutic results and their response to radiosensitivity. To describe the role of the Radiotherapy technician with the use of IGRT technology in the daily positioning of the patient and the reduction of random and systematic errors of the treatment. **Materials and methods:** The present research features a Narrative Literature Review of current evidence, with publications from the last five years, the texts were obtained from the Regional Portal of the Virtual Health Library (VHL Regional) through controlled vocabulary of Health Science Descriptors (DeCS/ MesSH) and the Latin American Center for Health Sciences (BIREME). Four bibliographies in the medical and technical area of radiotherapy were also read, with the respective chapters of interest and a Dissertation for Master's and Graduate Studies in Radiological Protection. were within the five-year period. For this reason they were named within the exclusion criteria. **Conclusion:** It is concluded that IGRT is not a treatment technique, but it adequately assists in the entire process of application by external radiotherapy, with greater accuracy and precision. As this technology becomes increasingly relevant, we understand that IGRT alone does not accomplish everything, appropriate protocols are needed for each treatment site. The role of the technician is of paramount importance so that all treatment is performed as planned in order to promote the daily reproducibility necessary in the treatment of the patient.

Keywords: Image Guided Radiotherapy; Fiducial Markers, Random and Systematic Errors, and Toxicity Reduction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Casal Curie	22
Figura 2- A descoberta do Radium	22
Figura 3- Equipamento THC Theratron 780 Cobalto 60	23
Figura 4- Primeiro paciente tratado	24
Figura 5 - Equipamento Acelerador Linear Trilogy	25
Figura 6- Circuito de um Acelerador Linear	26
Figura 7- Radioterapia Convencional 2D	27
Figura 8- Segmentação da Imagem de Tomografia Computadorizada	28
Figura 9- Fusão de Imagens 3D	31
Figura 10- Volumes de Interesse do Alvo	33
Figura 11- Modulação de Intensidade dos Feixes de Radiação	34
Figura 12- Campos Conformados com distribuição de dose	34
Figura 13- Colimador Mult-Leaff (MLC)	35
Figura 14- Técnica de Step and Shot / Sliding Windows	36
Figura 15- Definição de IGRT	38
Figura 16- Marcadores Fiduciais com IGRT de Ultrassom	39
Figura 17- Marcadores Fiduciais de Ouro	40
Figura 18- Tomografia Computadorizada de Planejamento com Marcadores Fiduciais de ouro inseridos na Próstata	40
Figura 19- Erros Randômicos (Aleatórios)	42
Figura 20- Erros Sistemáticos	43
Figura 21- Equipamento de obtenção de imagens planares e volumétricas	44
Figura 22- Contraste do kV	44
Figura 23- EPID MV	45
Figura 24- Painéis Detectores de Silício Amorfo	45
Figura 25- Equipamento IGRT Exac-Trac	46
Figura 26- Exac-Trac Infravermelho	47
Figura 27- Esferas reflexivas de corpo	47

Figura 28- Câmera de Infravermelho	47
Figura 29- Imagens Volumétricas CBCT	49
Figura 30- IGRT Cone Beam CT	49
Figura 32- Ultrassom IGRT	51
Figura 33- Mesa Robótica com 6 graus de liberdade	52
Figura 34- Principais equipamentos de IGRT	53
Figura 35- Ultrassom Varian Calypso	54
Figura 36- IGRT Trilogy	54
Figura 37- Console estação de comando do Trilogy	55
Figura 38- Protocolos SAL e NAL	57
Figura 39- Comparação de imagens de IGRT	58
Figura 40- IGRT Kv-Kv para estrutura óssea	59
Figura 41- IGRT Mv-Mv para estrutura densa (mama)	59
Figura 42- CBCT de Próstata	60
Figura 43- Toxicidade Aguda/ Tardia	64
Figura 44- Exemplos de Eritema na Pele	65
Figura 45- Ficha de Tratamento do Paciente/ frente	68
Figura 46- Ficha de Tratamento do Paciente/ parte superior interna	69
Figura 47- Ficha de Tratamento do Paciente/ avaliações médicas	70
Figura 48- Ficha de Tratamento do Paciente/ parte externa	71
Figura 49- TC de Planejamento Corte Axial Tomógrafo Big Bore	74
Figura 50- CBCT de Próstata realizada no equipamento Trilogy Varian	75
Figura 51- Fusão das duas imagens TC/ CBCT	75
Figura 52- CBCT Corte Sagital da Próstata	76
Figura 53- Segundo PTV- TC de Planejamento	76
Figura 54- Imagens de CBCT Cone Beam diário	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
3D-CRT	Radioterapia Conformacional 3D
4D	Quadrimensional
4D-CT	Tomografia Computadorizada quadrimensional
ABEN	Associação Brasileira de Energia Nuclear
AL	Acelerador Linear
Bqt	Braquiterapia
C60	Cobalto 60
CA	Câncer
CBCT	Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico
CCU	Câncer colo do útero
CGy	Centgray unidade de medida da dose absorvida
CID	Cadastro Internacional de Doenças
CP	Cabeça e Pescoço
CT	Tomografia Computadorizada
CTV	Volume Alvo Clínico da doença
DAP	Distância Antero- Posterior
DFF	Distância Fonte-filme
DFI	Distância Fonte-Isocentro
DLL	Distância Látero-Lateral
DNA	Ácido Desoxirribonucléico
DPA	Distância Pósterio-Anterior

DRRs	Imagem Digitalmente Reconstruída
EPI's	Equipamentos de proteção individual
EPID	Dispositivo de Imagem Portal Eletrônico
EPJV-FIOCRUZ	Escola Politécnica Joaquim Venâncio/ Fundação Osvaldo Cruz
FIOCRUZ	Fundação Osvaldo Cruz
GPS	Sistema de Posicionamento Global
Gy	Gray Unidade de medida da dose absorvida
GTV	Volume tumoral macroscópico
HCI	Hospital do Câncer I
HMV	Hospital Moinhos de Vento
ICRU	Comissão Internacional de Medidas e Unidades Radiológicas
IFECT/SC Catarina	Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Santa Catarina
IGRT	Radioterapia Guiada por Imagem
IMRT	Radioterapia de Intensidade Modulada
INCA	Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Kv	Quilovoltagem unidade de tensão elétrica do equipamento
LINAC	Acelerador Linear
MLC	Colimador multilâminas Multi-leaf
MPC Check	Verificação do desempenho da máquina Machine Performance
MV	Megavoltagem
NAL	Nenhum Nível de Ação
OAR	Órgãos de Risco

PET-CT	Tomografia Computadorizada por Emissão de Póstrons
PO 84	Polônio elemento químico
PQRT	Programa de Qualidade em Radioterapia
PTV	Volume de Planejamento do Alvo
QV	Qualidade de Vida
RA 88	Rádio elemento químico
RapdArc	Arco Rápido
RMN	Ressonância Magnética Nuclear
SAD	Distância Foco-Eixo
SAL	Diminuindo o Nível de Ação
SBRT	Radioterapia Stereotáxica Corporal
SNC	Sistema Nervoso Central
SSD	Distância Foco-Pele
SUS	Sistema Único de Saúde
TC	Tomografia Computadorizada
TCP	Probabilidade de Controle Tumoral
THC	Theratron 780
TNM	Estadio da doença T= tumor, N= Número e grau de acometimento dos Linfonodos, M= Metástases.
TTO	Tratamento
TU	Tumor
UM	Unidade Monitora de dose
US	Ultrassom
Z	Número Atômico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 JUSTIFICATIVA.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
Objetivo geral	19
Objetivos específicos	19
4 METODOLOGIA	20
5 DESENVOLVIMENTO	21
História da teleterapia	21
Evolução técnica da radioterapia externa	23
Radioterapia convencional bidimensional 2D	26
Radioterapia conformacional tridimensional (3D – CRT)	28
Planejamento em radioterapia 3D	29
Volumes de interesse do alvo (GTV, CTV, PTV)	32
IMRT- Radioterapia de intensidade modulada.....	33
5.2.3. Tipos de IMRT mais utilizadas.....	35
IGRT- Radioterapia guiada por imagem.....	37
5.3.1. Redução de erros randômicos (Aleatórios) x Sistemáticos.....	41
Diferentes modalidades e equipamentos de IGRT.....	43
Imagens Kv/Kv: Imagens planares 2D.....	43
Imagens Mv/Mv (EPID/CR/Portal Filme):	45
Exac Trac	45
IGRT- Imagens volumétricas 3D.....	48
Tomografia computadorizada de feixe cônico CBCT.....	48
<i>Tomotherapy helical</i> MVCT	50
Dispositivo de rastreamento (<i>transponders</i>)	51
Mesa robótica 6D	52
Principais equipamentos que podem realizar IGRT	53
Protocolos de IGRT	55

IGRT ideal para diferentes sítios de tratamento	58
Imagens KV-Kv	59
Imagem Mv-Mv	59
Imagem CBCT	60
IGRT X Hipofracionamento de dose	60
5.7.1 Toxicidade e qualidade de vida.....	63
Ficha de tratamento do paciente.....	67
O papel do técnico com o uso do IGRT no posicionamento diário do paciente....	71
6 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

A radioterapia ou terapia da radiação é uma modalidade da medicina que se utiliza das radiações ionizantes para o tratamento do câncer, com o intuito de impedir que células tumorais se multipliquem, promovendo a morte celular destas, com a utilização de feixes de radiação em alta energia com o menor dano possível aos tecidos sadios. (KHAN, 2003)

Conforme citação, a radiação ionizante por sua vez tem o poder de arrancar elétrons dos átomos, causando alterações biológicas nos tecidos humanos, embora esta radiação não possua propriedades que nos permitam vê-la, ouvi-la ou tocá-la, seus efeitos têm um caráter lesivo às células. (DIMENSTEIN; HORNOS, 2013)

Nem todas as células, tecidos, órgãos e organismos respondem com igualdade a mesma dose de radiação, pois quanto maior o grau de diferenciação celular menor será a taxa de divisão e menores são as probabilidades de morte celular induzida pela radiação. (NOUAILHETAS, 2015)

De modo considerável a evolução e os avanços tecnológicos contribuíram com a eficácia pela qual a radioterapia é planejada e aplicada. (Introdução à radioterapia, 2020). Os primeiros tratamentos radioterápicos eram realizados com base em imagens radiográficas, em duas dimensões (2D), que promovia apenas a verificação por parâmetros ósseos ou a verificação de órgãos fazendo uso de contraste. O sistema (2D) começou a ser substituído pelo planejamento em três dimensões (3D) que utiliza imagens volumétricas, seccionais e permite a visualização de tecidos moles e do alvo da radiação. (PERES, 2018)

A radioterapia pode ser interpretada por Clássica (2D) e Moderna (3D). A radioterapia (2D) baseia-se no cálculo de dose em um ponto e o paciente é representado por uma imagem radiográfica (2D), com campos delimitados pelos colimadores “sólidos”, campos retangulares modificados por blocos não conformatórios e a intensidade do feixe é constante nos planos transversos e imagens planares. Enquanto a radioterapia Moderna é totalmente baseada em

imagens em três dimensões, largura, altura e profundidade, calculada por meio de algoritmos computacionais (3D), sendo o tumor conformado por colimadores Multi-lâminas Multi-Leaf (MLC), dinâmico, onde é possível visualizar a lesão com margem pequena na região afetada, proporcionando ao tumor um tratamento mais conformado. O planejamento da Radioterapia foi revolucionado pela habilidade em poder delinear o tumor e as estruturas normais adjacentes em três dimensões com o auxílio de tecnologias como a Tomografia Computadorizada (TC), Ressonância Magnética Nuclear (RNM), Ultrassom (US) e Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET-CT). (INTRODUÇÃO À RADIOTERAPIA: TÉCNICAS E PLANEJAMNETOS, 2020)

Recentemente foi introduzido nos serviços radioterápicos a Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) que é uma tecnologia que possibilita acertar o alvo (tumor) de forma mais acurada, com precisão submilimétrica em tempo real, permitindo a minimização de margens adicionais e redução de volumes irradiados, diminuindo as chances de perda de um alvo. Dessa forma, é possível aumentar a precisão do tratamento antes e durante a aplicação da radioterapia. A Radioterapia Guiada por imagem possibilita a redução de margens e conseqüentemente o aumento da dose de irradiação permitindo difundir a radioterapia hipofracionada. (HOSPITAL MOINHOS DE VENTO, 2020)

Este Trabalho apresenta as técnicas de tratamento mais utilizadas na radioterapia externa que se consolidaram ao longo da história, com foco na tecnologia de Radioterapia Guiada por Imagem demonstrando a relevância e os resultados obtidos em favor dos pacientes portadores de doenças neoplásicas malignas que necessitam de tratamento radioterápico. Com o IGRT o médico pode reduzir a margem dada ao volume clínico da doença (CTV), para formar o volume de planejamento alvo (PTV) e conseqüentemente a diminuição da irradiação de tecidos normais e a toxicidade do tratamento. Além disso, pode aumentar a dose prescrita, o que em alguns casos leva a um ganho de controle tumoral, aumentando o sucesso do tratamento. (PERES, 2018)

É importante salientar que o IGRT não é uma técnica de tratamento e deve

sempre ser empregado em conjunto com uma modalidade de entrega da dose por Radioterapia externa, inclusive com a Radioterapia Conformacional 3D (3D-CRT) e não somente com a Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT). (PERES, 2018)

2 JUSTIFICATIVA

A incidência e mortalidade por câncer aumentam mundialmente, no Brasil as estimativas dessa análise, motivam a fundamentação de estudos nesta área.

Sendo assim, este trabalho é relevante, pois busca contribuir com os estudos na área técnica para Radioterapia, em busca da excelência no tratamento ao paciente oncológico.

Buscando ampliar conhecimentos, e por estar inserida nesse contexto, essa pesquisa foi de grande importância, pois entendo que os profissionais necessitam constantemente acompanhar os avanços tecnológicos, para que possam atualizar-se, adquirindo aprendizado, com uma formação e olhar no futuro, atrelados a princípios éticos, sociais e de humanização. Além disso, deve-se entender o importante papel, que nós, os profissionais da área técnica em radioterapia desempenhamos junto às equipes multidisciplinares, atuando com responsabilidade e sublimidade no desempenho de nossas funções, que só poderá ser atingido pelo incansável desejo do conhecimento e amor ao que se faz.

3. OBJETIVOS

Objetivo geral

Evidenciar a relevância da tecnologia da Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), nos tratamentos radioterápicos e na melhora da qualidade de vida dos pacientes oncológicos.

Objetivos específicos

- a) Demonstrar as diferentes modalidades e equipamentos que realizam IGRT já consolidadas nos serviços radioterápicos: (Kv/ kV, Mv/ Mv, CBCT, US).
- b) Identificar o IGRT como ferramenta para realização dos tratamentos hipofracionados, os níveis de toxicidade, os resultados terapêuticos e sua resposta à radiosensibilidade;
- c) Descrever o papel do técnico em Radioterapia com o uso da tecnologia IGRT para corrigir o posicionamento diário do paciente e a redução de erros aleatórios e sistemáticos durante o tratamento;

4 METODOLOGIA

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido por meio de uma revisão de Literatura Narrativa de evidência atual, elaborada a partir de material publicado nos últimos cinco anos, entre 2017/2021.

Quanto à abordagem, a pesquisa foi realizada com leituras de textos obtidos no Portal Regional da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS Regional), utilizando vocabulário controlado, dos Descritores em Ciência da Saúde (DeCS/MeSH), vocabulário controlado pelo Centro Latino Americano de Ciências da Saúde (BIREME), que permitiram a compreensão e a relevância das informações referentes à proposta de pesquisa.

Empregaram-se os seguintes descritores nos termos de busca: Radiotherapy Image-Guided and Fiducial Markers and Random and Systematic Errors and Reduced Toxicity. Foram encontrados na pesquisa vinte e nove artigos científicos, dos quais somente seis permaneceram aceitos para os critérios de inclusão, por tratarem especificamente do tema referido, e aos termos de busca utilizados, exceto os que não se encontravam nessas condições e fora do período estipulado dentro de cinco anos atrás. Por esse motivo os vinte e três artigos que não foram aceitos fazem parte dos critérios de exclusão dessa pesquisa. Também foi realizada leitura de quatro bibliografias da área médica e técnica em radioterapia, com os respectivos capítulos de interesse. Sites específicos foram acessados e contribuíram para elaboração deste trabalho, e uma dissertação para Mestrado e Pós-Graduação em Proteção Radiológica integrando texto completo acessível nas línguas inglesa e portuguesa. O EndNote Web foi utilizado para auxiliar no gerenciamento e organização das referências citadas.

5 DESENVOLVIMENTO

História da teleterapia

Sabe-se que as radiações ionizantes fazem parte do planeta Terra desde a origem, sendo assim um fenômeno natural. Com o avançar do tempo, átomos radioativos instáveis, evoluíram para uma forma com maior exatidão, por meio da liberação excedente de energia depositada no núcleo. Essa energia possui a capacidade de interagir com a matéria, arrancando elétrons de seus átomos, realizando a ionização e modificando as moléculas. (NOUAILHETAS, 2015, p. 3)

Conforme evidências a radiação vem sendo empregada na medicina, há mais de um século, desde a descoberta dos “Raios-X”, por Wilhelm Conrad Roëntgen, em 8 de novembro de 1895, e das descobertas do casal Pierre e Marie Curie, em 1898, demonstrado na Figura 1. Esses pesquisadores da radioatividade perceberam que os raios-X, apresentavam propriedades biológicas. Expondo suas mãos aos novos raios notaram que essas sofriam dermatites parecidas com as ocasionadas pelo sol, e posteriormente sua integridade era restituída. Essa trindade (exposição, dano biológico aos tecidos e restituição) os levou a especular se os raios X não poderiam ser usados com alguma finalidade para medicina. Ficaram assim conhecidos como os pioneiros nas aplicações das radiações ionizantes para fins terapêuticos. As conquistas de Marie incluem a teoria da Radioatividade, (termo que ela mesmo desenvolveu), utilizando técnicas para isolar isótopos radioativos, e a descoberta dos elementos Rádio (Ra 88) Figura 2, e Polônio (Po 84). Por esses feitos foi a primeira mulher no mundo a receber dois prêmios Nobel, o de Física em 1903 e o de Química em 1911. (SEGRÈ, 1987)

Por sua coordenação foram realizados os primeiros estudos no tratamento de

neoplasmas, administrando esses isótopos. (HISTÓRIA DA RADIOTERAPIA, 2020). A radiação quando empregada para tratamento de pacientes, principalmente oncológicos, recebe a denominação de Radioterapia ou Terapia da Radiação. (PERES, 2018)

Essas terapias podem ser divididas em dois grupos de tratamentos com a mesma finalidade, Braquiterapia (Bqt), onde há o contato direto da fonte de radiação com a lesão, e a Teleterapia, ou chamada Radioterapia externa, que é quando a fonte de radiação fica a certa distância do paciente, foco deste estudo. (PERES, 2018)

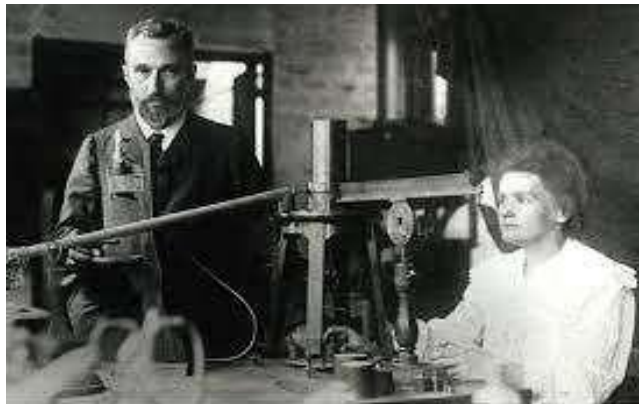


Figura 1: Casal Curie

Fonte: Wikipédia



Figura 2: A descoberta do Radium Fonte: Dr. IGOR MIGOWSKI, Princípios da Radioterapia HCI inca, 2021

Evolução técnica da radioterapia externa

No início equipamentos com tubos primitivos de Raios-X emitiam radiação de baixa energia, por consequência, os raios não alcançavam os tecidos mais profundos. Essas radiações eram úteis para os tratamentos de tumores superficiais com finalidades paliativas. (GUNDERSON, 2007)

Com o avanço tecnológico, equipamentos de alta energia começaram a surgir. Esses emitiam feixes com milhões de eletronsvolts, realizando tratamentos nos tecidos mais profundos, e por consequência, poupavam a pele. Tais equipamentos foram conhecidos popularmente como Telecobalto e/ou técnica de Telecobaltoterapia (Figura 3) que contém uma fonte radioativa selada de Cobalto 60 dentro de uma blindagem de urânio exaurido (Urânio enfraquecido, resumidamente composto pelo isótopo U-238 de difícil ruptura) emitindo radiação Gama constantemente, e opera frequentemente a uma distância da fonte de radiação ao isocentro de tratamento do paciente definida como distância foco imagem (DFI) de 0,60 a 0,80m, e/ou “*Source Axis Distance*”/ Distância Foco Eixo, que também é conhecida pela sigla inglesa (SAD). (ATUALIZAÇÃO PARA TÉCNICOS EM RADIOTERAPIA INCA, 2010). A energia média disponível nas unidades de telecobaltoterapia é de 1,25 MeV e sua profundidade onde a dose é máxima é de 0,5cm da superfície. (PERES, 2018)



Figura 3: Equipamento THC - Theratron 780 - Cobalto 60. Fonte: Smetal.org. br

Logo após vieram os equipamentos de Megavoltagem que produzem radiação artificialmente, e aceleram elétrons em seu tubo, chamados de Aceleradores Lineares (AL). Eles são equipamentos com maior utilização atualmente, vemos na Figura 4 o primeiro paciente tratado em um Acelerador Linear. (HISTÓRIA DA RADIOTERAPIA, 2021)



Figura 4: Primeiro paciente tratado/Califórnia EUA. **Acelerador Linear: Dr. H. Kaplan e o primeiro paciente em 1956 tratado no AL 6 MV em Stanford. Após 40 anos ele encontra-se curado e com visão preservada. Kaplan foi o pai do AL nos EUA** Fonte: Dr. IGOR MIGOWSKI, Princípios da Radioterapia HCI inca, 2021

O Acelerador Linear (AL) Figura 5, é uma unidade de teleterapia que possui energias de Raios-X, utilizados para tumores internos, e de elétrons para tumores superficiais. Na Figura 6 podemos observar o circuito de um acelerador de partículas, o qual possui a vantagem de geração de fótons de alta energia, “com alto poder de penetração”, alcançando às neoplasias mais profundas, minimizando a dose nos tecidos sadios. Uma desvantagem é o seu alto custo de manutenção e formação técnica com treinamento especializado. No acelerador linear a técnica de tratamento “Source Skin Distance” (SSD), que representa a distância da fonte de radiação até a pele do paciente é definida a 100 cm. (TODESCATTO, 2018)



Figura 5: Acelerador Linear - Trilogy da Varian

Fonte: hsmdiagnostico.com.br/varian-trilogy

Circuito do Acelerador Linear

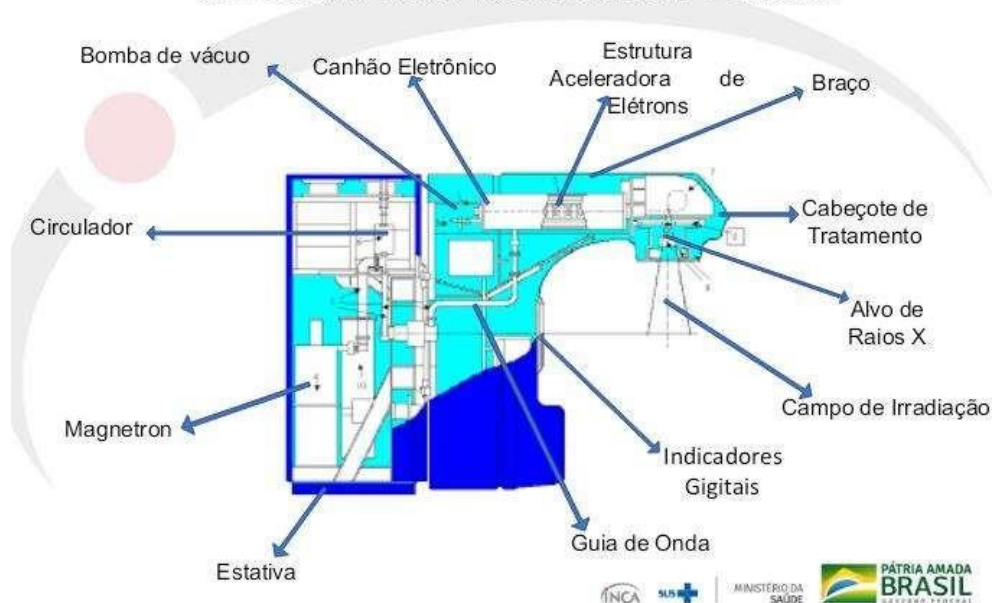


Figura 6: Circuito de um Acelerador Linear

Fonte: Ministério da Saúde / Inca. gov.br

Radioterapia convencional bidimensional 2D

No planejamento da Radioterapia 2D, utilizam-se radiografias convencionais para a definição das incidências e da área de tratamento Figura 7. É realizado um contorno transversal na pele do paciente na região desejada, obtida com um fio de chumbo que delimita a área de interesse. O planejamento do tratamento é realizado a partir de estruturas ósseas do paciente com imagens em duas dimensões (2D), largura e altura. (CAETANO; SOUZA; DIAS; LAUANNA; MANGUEIRA, 2010). A técnica ainda é muito aplicada no Brasil, pois conforme a condição clínica do paciente o tratamento em 2D, mostra-se bastante adequado. Sua inferioridade está relacionada com a privação em poder visualizar

o volume alvo e os tecidos normais do entorno. Sendo assim, a entrega da dose é feita em grandes volumes, aumentando as chances de complicações, e inviabilizando as tentativas de aumentar a dose, caso isso se faça necessário. (ALMEIDA; HADDAD; FERRIGNO, 2011)



Figura 7: Radioterapia Convencional 2D

Fonte: ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2015

A verificação com imagens 2D é caracterizada pela aquisição de imagens ortogonais, que frequentemente são chamadas de imagens Portais. As imagens podem ser adquiridas através de filmes radiográficos ou por imagem digitalmente reconstruída utilizando a mesma energia de Megavoltagem (MV), empregada nos tratamentos com Aceleradores Lineares. As imagens portais possuem baixo contraste, pois na energia de MV se faz predominante o efeito Compton, com diminuição da qualidade na visualização dos tecidos moles e do volume alvo de tratamento. (CAETANO; SOUZA; DIAS; LAUANNA; MANGUEIRA, 2010)

A Radioterapia Convencional 2D é um procedimento utilizado para tratamento de vários tumores, mostrando-se bastante eficaz para essas patologias, entretanto existem procedimentos radioterápicos mais avançados, mas a radioterapia convencional ainda é uma realidade muito utilizada em vários serviços, sobretudo aqueles que prestam atendimento pelo Sistema Único de Saúde (SUS). (CAETANO; SOUZA; DIAS; LAUANNA; MANGUEIRA, 2010)

Radioterapia conformacional tridimensional (3D – CRT)

Segundo Salvajoli, Souhami e Faria (1999), a radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT), é uma técnica de tratamento no qual informações anatômicas são provenientes de imagens e cortes tridimensionais cuja distribuição de dose é conformada o mais próximo possível do volume tumoral. A segmentação da imagem é uma ferramenta útil dos softwares de marcação, que realizam a delimitação manual ou automática do contorno externo, e também de algumas estruturas anatômicas das regiões de interesse, com suavização de formas, interpolação (interupção), margens automáticas do (CTV e PTV), e controle do janelamento da imagem de Tomografia Computadorizada (TC). A tradicional aproximação 2D para o planejamento de tratamento não é suficientemente satisfatória para a radioterapia Conformacional, por não considerar a origem volumétrica do alvo de interesse e as estruturas vulneráveis dos órgãos de risco (OAR). O planejamento de tratamento 3D é o processo completo de obtenção e análise das informações volumétricas de dose de radiação, como demonstra a Figura 8. (SALVAJOLI, SOUHAMI, FARIA, 1999)



Figura 8: Segmentação da Imagem de Tomografia Computadorizada.

Fonte: Bernardino e Luis Felipe R1/R2, INCA.

A radioterapia conformacional tridimensional foi denominada como “Radioterapia de alta definição”, onde o volume de tratamento está intensamente conformado ao volume do alvo. Com o desenvolvimento de tecnologias, cada vez mais avançadas foi possível esta condição ser atingida. Com uma localização mais exata tanto do alvo quanto dos tecidos normais (sadios), permitindo uma maior independência na liberação dos feixes de tratamento, possibilitando que a Radioterapia venha ser empregada de forma a poupar um número maior de porções dos tecidos normais, enquanto o alvo de interesse seja tratado com precisão. (SALVAJOLI, SOUHAMI, FARIA, 1999)

O conceito de distribuição conformada de dose também foi ampliado para incluir objetivos, como maximizar a probabilidade de controle tumoral (TCP), e minimizar as chances de complicações nos tecidos normais (NTCP). Assim, a técnica 3D-CRT compreende os aspectos físicos e biológicos, para alcançar os resultados clínicos desejados. Embora a radioterapia 3D exija uma distribuição de dose ideal, existem muitos desafios para que esses objetivos sejam alcançados, sendo o maior deles a limitação do conhecimento da real extensão do tumor, volume clínico do alvo do inglês: “Clinical Target Volume” (CTV). (KHAN, GIBBONS, 2014)

Planejamento em radioterapia 3D

Segundo o documento Tec Doc–1151 (2000), Programa de Qualidade em Radioterapia (PQRT), o tratamento de tumores mediante radiação ionizante é um processo contínuo com etapas bem distintas. Estas incluem o diagnóstico e a localização do tumor, a decisão sobre a estratégia de tratamento o cálculo de dose absorvida e a avaliação de resultados a curto e longo prazo. (KHAN, 2003). A partir da década de 90, os computadores foram incluídos na radioterapia, e hoje o seu uso é indispensável para que o tratamento seja realizado conforme o planejamento, causando menor dano possível aos tecidos sadios, e ao mesmo tempo garantindo que o alvo desejado receba a dose de radiação planejada. Dentro desse processo de planejamento existem vários fatores importantes, os

quais constam a aquisição de dados do paciente, definição do alvo de interesse, simulação de tratamento, cálculo de dose e avaliação do plano de tratamento. (RAMOS, 2007)

A aquisição dos dados do paciente é o primeiro passo para o planejamento do tratamento. Informações das estruturas anatômicas são adquiridas através de imagens de alta qualidade que proporcionam um delineamento preciso, para isso utilizam-se várias formas de aquisição, com diversas tecnologias. A imagem é exportada para um sistema de planejamento computadorizado que define o local e volume dessas estruturas, bem como realiza o planejamento da atribuição de dose por meio de diferentes portais de entrega conhecida como campos de tratamento. Com a Tomografia Computadorizada, tornou-se possível visualizar, localizar e delinear o volume alvo em cortes de TC, esses cortes provêm da distinção entre tecidos moles, obtendo um planejamento computadorizado que calcula com maior precisão a dose de radiação, além de gerar a distribuição de dose tridimensional através do volume irradiado do paciente. (SALVAJOLI; SOUHAMI; FARIA 1999)

Consoante à Almeida, Haddad e Ferrigno (2011), a Tomografia Computadorizada (TC), é a base para a radioterapia conformacional 3D, porém é possível, dependendo da situação clínica, utilizar também a Ressonância Nuclear Magnética (RMN), ou Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET/CT), e realizar a fusão das imagens com a TC de planejamento como observado na Figura 9. As imagens de Tomografia Computadorizada que permitem a formação do paciente virtual em 3D consistem de matriz de coeficiente de atenuação que são convertidos para densidade eletrônica. (ALMEIDA; HADDAD; FERRIGNO, 2011)

Fusão de imagens

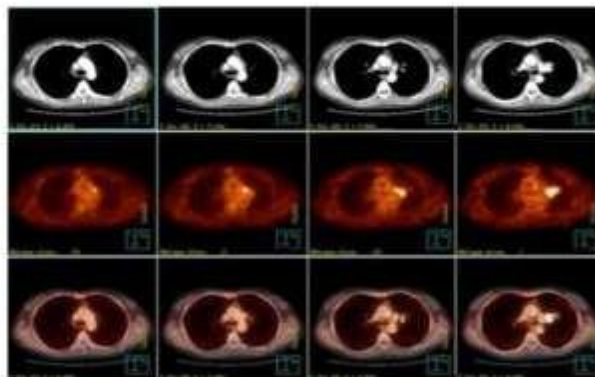


Figura 9: Fusão de Imagens 3D

Fonte: docplayer.com.br/Introdução à Radioterapia Técnicas e Planejamentos.html

Esta informação de densidade é usada no sistema de planejamento como elemento essencial de cálculo de dose para a correção de heterogeneidades (diferenciação) entre os tecidos. As publicações da Comissão Internacional de Unidades e Medidas de Radiação ICRU 50 e 62 vieram para consolidar e unificar a nomenclatura na utilização da 3D CRT. Atualmente, a 3D-CRT é uma técnica que pode ser utilizada para as seguintes situações clínicas:

- Tumores de Próstata;
- Tumores Pélvicos;
- Tumores primários do Sistema Nervoso Central SNC;
- Tumores de Cabeça e Pescoço;
- Tumores Torácicos;
- Linfomas;
- Tumores do Abdome Superior. (ALMEIDA; HADDAD; FERRIGNO, 2011)

Volumes de interesse do alvo (GTV, CTV, PTV)

Precisamente, os volumes de tratamento são definidos pelo documento ICRU de números 50, conforme demonstra a Figura 10, e ICRU 62. Para planejar um tratamento radioterápico com radiações ionizantes, são necessários no mínimo três parâmetros, volume tratado, dose de radiação e técnica utilizada. O volume do tumor visível é conhecido como GTV, (do inglês Gross Tumor Volume), que é definido como a massa palpável ou extensão visível do tumor. Esse volume corresponde à parte da doença onde existe a maior concentração de células malignas. Se o tumor foi removido cirurgicamente, o GTV não pode ser definido. A delimitação do GTV é baseada na anatomia topográfica e em considerações biológicas, sem levar em conta os fatores técnicos do tratamento. (MANUAL PARA TÉCNICOS EM RADIOTERAPIA, 2000)

O volume contendo o GTV e doença microscópica maligna possível é denominado Volume Clínico do Alvo, abreviado pela sigla CTV, (Clinical Target Volume). É muito importante que o CTV seja tratado adequadamente para que o objetivo da radioterapia seja alcançado. (RAMOS, 2007)

O volume de planejamento alvo (Planning Target Volume) assegura que todos os tecidos inclusos no CTV, recebam a dose prescrita, para que isso ocorra é necessário planejar e irradiar um volume geometricamente maior que o CTV. O PTV é o CTV mais as margens de erros, no qual pode constar o movimento do tecido que contém o volume clínico CTV, (Ex: movimentos respiratórios e também do paciente, a variação no formato do tecido, diferentes níveis de repleção, preenchimento da bexiga, e variações das características geométricas do feixe de radiação, tamanho, angulação, etc.). (MANUAL PARA TÉCNICOS EM RADIOTERAPIA, 2000)



Figura 10: Volumes de Interesse do Alvo

Fonte: ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2015.

IMRT- Radioterapia de intensidade modulada

Entre as técnicas de tratamento mais utilizadas na radioterapia, está a da Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT). Que diferencialmente da 3D-RCT, ela se baseia em múltiplos feixes de radiação de intensidade não uniforme, com a aplicação de dispositivos que modificam os feixes primários, de forma a possibilitar a obtenção de planos de tratamento e a melhora na entrega da dose com modulação da fluência dos fótons, doses elevadas nos volumes alvo, e a redução de doses nos órgãos de risco circundantes. A seguir na Figura 11, podemos observar a radioterapia com modulação de intensidade dos feixes de radiação.



Figura 11: Modulação da intensidade dos Feixes de Radiação

Fonte: ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2015.

Existe então o cuidado e a necessidade de poupar os diferentes tecidos ao redor da lesão propriamente dita, com essa técnica obtemos a oportunidade de limitar a dose em áreas nobres, como por exemplo, bexiga e reto, Figura 12. Diminuindo a probabilidade de ocorrer maior grau de toxicidade, reações e efeitos colaterais frequentes, contribuindo assim para a melhora na qualidade de vida dos pacientes. (REVISTA BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA, 2012 3 Ed, P. 137)

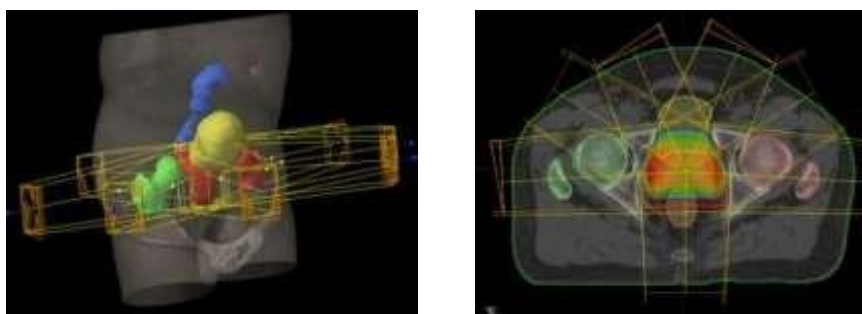


Figura 12: IMRT Campos Conformados com distribuição de dose.

Fonte: IFECT/SC Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

As fluências não uniformes de um tratamento com IMRT são resultados frequentemente obtidos por campos com colimadores de multilâminas (MLC), Figura 13, localizado na saída do cabeçote contendo várias lâminas finas e espessas, feitas com material de alta absorção, as quais se movem em um ponto durante o processo de liberação dos feixes de radiação, e é constituído por um sistema remotamente guiado por computadores. (SALVAJOLI, SOUHAMI, FARIA, 2013)



Figura 13: Colimador Multi-leaf (MLC)

Fonte: [aems.edu. br /Faculdades Integradas de Três Lagoas](http://aems.edu.br/Faculdades%20Integradas%20de%20Tr%C3%AAs%20Lagoas).

Tipos de IMRT mais utilizadas

Convencional com Colimadores Multi-Leaf (MLC)

- Step and Shoot: Faz o uso de uma série de múltiplos segmentos de campos, onde cada um desses inclui uma sucessão de formatos de MLC, entregue com a mesma posição de Gantry e controlado por computador. A dose de radiação é liberada quando a posição do MLC é definida e

estacionada em cada segmento/ campo de tratamento prescrito e planejado. As lâminas se movem, com o intuito de modular a fluência, com o feixe desligado

- Sliding Windows: Conforme a posição do Gantry, os pares de folhas do MLC, controladas por computador, formam diferentes posições através do volume-alvo do tratamento, com o feixe ligado, realizando a fluência desejada, a seguir apresentada na Figura 14. Portanto, as lâminas se movem, com o intuito de modular a fluência, com o feixe ligado



Figura 14: Step and Shot / Sliding Windows

Fonte: ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2015.

Embora o emprego da IMRT, tenha aumentado bastante nos serviços de radioterapia, sabe-se que o uso desta técnica exige o conhecimento de modalidades de imagens (IGRT), incertezas de posicionamento diário do paciente, movimentação dos órgãos, cálculo de dose em 3D, otimização e entrega de dose com feixes não uniformizados. Essas convicções são extremamente importantes e visam acima de tudo, à segurança do paciente na aplicação dessa técnica. (ALMEIDA; HADDAD; FERRIGNO, 2011)

IGRT- Radioterapia guiada por imagem

A Radioterapia Guiada por Imagem é uma tecnologia que permite a verificação e correlação com as imagens de referência em tempo real, com medida submilimétrica da localização das lesões a serem tratadas. Seu principal objetivo é garantir que o tumor esteja dentro do campo de irradiação todos os dias de tratamento, uma vez que o tumor poderá mudar de posição entre um tratamento e outro, e durante o mesmo. No início do tratamento são realizadas uma ou mais imagens no aparelho, para ser comparado com a imagem do planejamento (TC de referência), esse processo de comparação é feito geralmente de cinco em cinco dias, ou diariamente nos casos que possuem essa indicação no PQRT da instituição, visando assegurar o controle e qualidade nos serviços de Radioterapia. (MUNDT; ROESKE, 2011)

Todo esse processo guiado por imagem é realizado com o intuito de melhorar a precisão da entrega de dose recebida todos os dias pelo paciente. Com a evolução dessa tecnologia, foi possível obter maior agilidade e precisão para garantir a reprodutibilidade no decorrer de todo tratamento, beneficiando o paciente com a redução significativa da toxicidade e o tempo de cada tratamento. A visualização em tempo real do alvo de tratamento, e também dos órgãos, permite a minimização das margens adicionais dos volumes irradiados, reduzindo as chances da perda do alvo, as incertezas de posicionamento de inter-fração (pré-tratamento), o controle dos movimentos tanto respiratórios, quanto corporais de preenchimento ou esvaziamento de alguns órgãos, ou até mesmo de pequenas alterações devido à perda ou ganho de peso do paciente, e também por edemas ocasionados pela própria doença.

Definição Bipartite:

Precisão: Modalidade avançada de imagem, especialmente aquelas que incorporam informações funcionais ou biológicas para delineamento dos alvos e dos OARs.

Acurácia: Imagem “in-room” para ajustes devido à mobilização do alvo, incertezas do posicionamento ou à resposta tumoral Figura 15. (MUNDT; ROESKE, 2011)



Figura 15: Definição de IGRT

Fonte: ABEN Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2015.

A orientação por imagem melhorou a precisão da radioterapia para diversos tipos de sítios acometidos por câncer, dentre eles o de pulmão. Nesse e, em outros casos podem ser usados marcadores fiduciais rádio-opacos para a demarcação da posição do alvo, quando o contraste da imagem é ruim. Os implantes torácicos são descritos em vários estudos, e dependendo da localização do tumor, os marcadores podem ser inseridos percutaneamente, ou endoscopicamente. Estudos pré-clínicos com simuladores em animais

demonstram que o marcador é seguro e totalmente biocompatível, além de ter bom contraste em imagens de ultrassom, raios-x 2D e 3D Kv. Geralmente a injeção do marcador é monitorada por orientação em tempo real fazendo uso de IGRT com fluoroscopia ou ultrassom Doppler, para minimizar os riscos de introdução endovascular do marcador, Figura 16. (BLANCK et al.; 2018, p.24-28)



Figura 16: Marcadores Fiduciais IGRT por Ultrassom.

Imagem A e B: Projeção de Fluoroscopia ântero-posterior nas estações de linfonodos; Imagem C: IGRT de Tomografia Computadorizada no plano axial; Imagem D: IGRT de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico, (CBCT). Fonte: SCIENCE DIRECT

A sedação e o monitoramento pós-procedimento são realizados de acordo com as diretrizes para procedimentos endoscópicos intervencionistas. Aquisição das imagens para o planejamento do tratamento de radioterapia inclui PET-SCAN, Tomografia Computadorizada TC, Tomografia Computadorizada em quatro dimensões (4DCT), que adquire a respiração correlacionada e tomografias consecutivas em apneia voluntária por inspiração profunda. Também a Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico a (CBCT), é realizada diariamente para a orientação da imagem do tumor. (BLANCK et al.; 2018, p.24-28)

Para tratamento e posicionamento de Próstata, também podem ser implantados marcadores fiduciais de ouro intraprostáticos, demonstrados a seguir

na Figura 17, como ferramenta de localização da próstata. (SCHILLER et. al, 2014)



Figura 17: Marcadores fiduciais de ouro.

Fonte: <http://izimed.com/all-products/x-mark>.

Segundo Lacetera e autores (2014), foram publicados estudos realizados em sete anos, com o uso de marcadores fiduciais prostáticos para localização por IGRT Figura 18. Eles concluíram que a técnica é segura e possui uma boa tolerância entre os pacientes, além disso, houve a redução das margens do PTV, reduzindo a toxicidade tardia para os órgãos sadios adjacentes (Bexiga e Reto). Médicos radioncologistas e urologistas reagem com uma resposta positiva sobre esta prática clínica, na qual está inserida a IGRT de alta precisão. (SILVA, 2017).

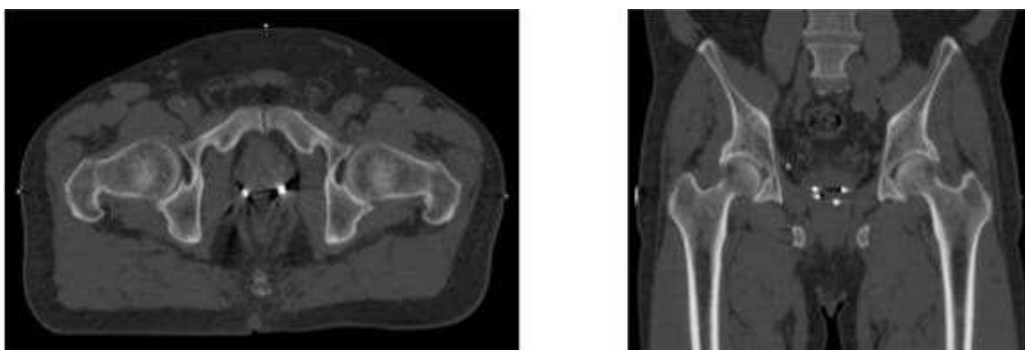


Figura 18: Tomografia Computadorizada de planejamento com marcadores fiduciais de ouro inseridos na próstata.
Fonte: IFECT/SC, 2017.

Redução de erros randômicos (Aleatórios) x Sistemáticos

A garantia do posicionamento diário preciso, com o mínimo de movimento do paciente durante o tratamento, é fundamental para que o paciente receba a dose exata prescrita. A reprodutibilidade no tratamento está interligada a repetição fiel da TC de planejamento, levando em consideração essa como imagem de referência. O posicionamento preciso diariamente depende de vários fatores tais como, anatomia de tratamento, idade do paciente, sua condição clínica, peso, etc. Dois conceitos importantes regem tanto ao planejamento quanto o tratamento propriamente dito, são esses: incertezas dosimétricas e incertezas geométricas. A Comissão Internacional de Unidades e Medidas da Radiação ICRU de nº 50 e 62, consideram três fontes de incertezas geométricas que podem dificultar a entrega da dose em um tratamento: variação no posicionamento do paciente, movimentos e deformação do órgão e erros relacionados aos aparelhos. (SILVA, 2017)

Os erros que estão associados à incerteza na entrega da dose podem ser classificados em:

Erros randômicos (aleatórios): É a parcela imprevisível do erro e se origina de variações temporais ou espaciais, devido a essas serem imprevisíveis nas medições e verificações da máquina (ver Figura 19). As medições podem oscilar em torno de um valor médio. Um instrumento para testes que seja preciso minimiza com significada importância os erros aleatórios, que são decorrentes dos erros mecânicos residuais e do desalinhamento, como por exemplo:

- Movimentação do alvo;
- Preenchimento do reto no tratamento de próstata;
- Somente a IGRT reduz erros aleatórios. (FREITAS, 2020)



Figura 19: Erros Randômicos (Aleatórios)

Fonte: Adaptado de Kruse J. ASTRO, 2008.

Erros Sistemáticos: É a parcela previsível do erro correspondente ao erro médico, não pode ser eliminado, mas pode e deve ser corrigido Figura 20. Esses desvios ocorrem na mesma direção e de intensidade similar em cada fração ao longo do tratamento, ex:

- Laser desalinhado;
- Aprendizagem incorreta de procedimentos;
- Erros de medida devido à calibração incorreta de ferramentas;
- Marcações na pele, onde não possui uma estrutura fixa, e com relação a tecidos mais profundos;
- Controle de Qualidade em Radioterapia diminui significativamente erros sistemáticos, fazendo uso de IGRT. (FREITAS, 2020)



Figura 20: Erros Sistemáticos

Fonte: Adaptado de Kruse J. ASTRO, 2008.

Diferentes modalidades e equipamentos de IGRT

Imagens Kv/Kv: Imagens planares 2D

Imagens de raios X produzidas por potenciais da ordem de quilovolts (Kv). Equipamento utilizado para obtenção de imagens planares em 2D, e volumétricas em 3D (ver Figura 21). Possuem vantagens em relação às radiografias de MV, por estarem na faixa de energia do efeito fotoelétrico, sendo muito boa para a visualização de ossos e por permitirem o ajuste do contraste no monitor para avaliação e posicionamento do alvo a ser corrigida em tempo real observada na Figura 22. (SHARPE; CRAIG; MOSELEY, 2007)

Imagens KV

Equipamento utilizado para obter imagens planares (2D) e volumétricas (3D)



Figura 21: Equipamento de obtenção de imagens planares e volumétricas

Fonte: HCorOnco, 2019.



Figura 22: Contraste do Kv

Fonte:HCorONco, 2019

Imagens Mv/Mv (EPID/CR/Portal Filme):

EPID/CR/Portal Filme: Sistema eletrônico para obtenção de imagens em radioterapia, com aquisição da imagem mediante diodos de silício amorfo, onde o processamento é realizado dentro da estação de trabalho, ver Figuras 23 e 24.



Figura 23: EPID MV



Figura 24: Painéis detectores de silício amorfo.

Fonte: BrainLab, 2011.

Exac Trac

Sistema da BrainLab Exac Trac X - Ray, foi desenvolvido para posicionar pacientes com precisão em um ponto definido dentro do feixe de radiação em Radiocirurgia Estereotáxica, e procedimentos de radioterapia. Esse sistema é independente do (AL), e realiza monitoramento constante da posição do paciente durante todo o tratamento Figura 25. (BRAINLAB, 2011).

IGRT Exac Trac



Figura 25: Equipamento IGRT Exac Trac Fonte: HCorOnco, 2019.

Ele é composto de dois sistemas integrados, um de posicionamento óptico baseado em infravermelhos para o posicionamento preciso de movimentação da mesa (ver Figura 26). Também possui duas câmeras que refletem nas esferas reflexivas colocada sobre a pele do paciente demonstrada nas Figuras 27 e 28, e o outro sistema consiste de raios-x (Kv), para a verificação da posição e reajuste da imagem, que tem por parâmetro a anatomia óssea ou marcadores fiduciais implantados. (JIN et. al ,2008)

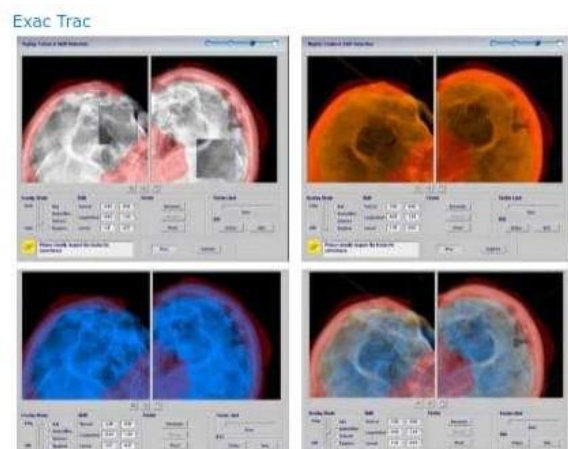


Figura 26: Exac Trac Infravermelho Fonte: HCorOnco, 2019



Figura 27: Esferas reflexivas de corpo



Figura 28: Câmera de Infravermelho

Fonte: BRAINLAB, 2011.

IGRT- Imagens volumétricas 3D

Tomografia computadorizada de feixe cônico CBCT:

Refere-se à reconstrução tomográfica de uma série de radiografias bidimensionais obtidas em uma única rotação da fonte e detector ao redor do paciente. O sistema Cone-Beam compreende um tubo de raios-x de energia de ordem de quilovolts, e um detector de painel plano montado no (AL). O mesmo eixo é compartilhado com a imagem Kv e os feixes de tratamento MV, onde centenas de projeções são adquiridas ao longo de um intervalo de 30 a 240 segundos, enquanto a reconstrução volumétrica é realizada conforme podemos observar na Figura 29. Imagens de Cone-Beam CT podem ser realizadas em várias partes do corpo, para orientação e verificação das imagens. (SONKE et al. ,2005).

A fusão de imagens é o processo de superposição de duas classificações de imagens de diferentes modalidades ou não, em um único conjunto com apenas um sistema de coordenadas. A fusão permite que as informações das diferentes modalidades venham a contribuir para melhorar a precisão da determinação do volume tumoral e também a preservação dos órgãos de risco (OAR). (ALMEIDA, 2012)

Imagens Volumétricas - CBCT

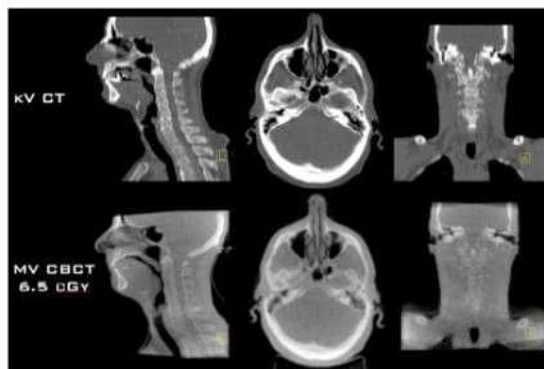


Figura 29: Imagens volumétricas CBCT

Fonte: HCorOnco, 201

O sistema de imagens é integrado diretamente no mecanismo do Acelerador Linear, onde a CT é realizada no próprio aparelho Figura 30.



Figura 30: IGRT Cone Beam CT

Fonte: HCorOnco, 2019.

Tomotherapy helical MVCT:

Tomoterapia é a combinação da radioterapia helicoidal (com movimento de mesa), comum nos tomógrafos, fazendo uso de um acelerador linear que gira 360° em volta do paciente, conforme equipamento de TC, administrando a radiação de forma contínua e precisa (ver Figura 31).

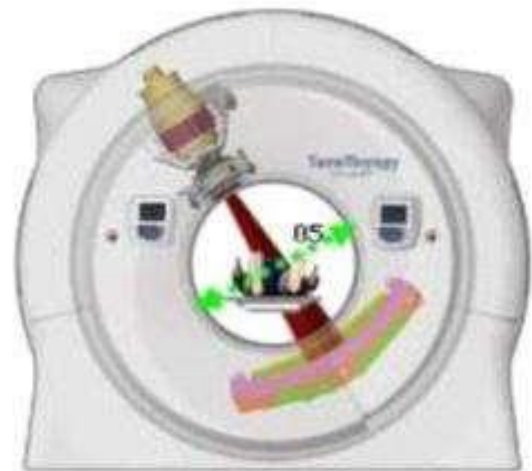


Figura 31: Tomoterapia

Fonte: HCorOnco, 2019.

Dispositivo de rastreamento (*transponders*)

Constituído de Sistema por posicionamento global para o corpo (GPS), Calypso na Varian e Clarity na Elekta, são dispositivos de rastreamento que monitoram a posição do tumor através de transponders eletromagnéticos, e são implantados no volume alvo por orientação de ultrassom, de maneira semelhante a uma biópsia por agulha, que transmitem a localização do alvo 25 vezes por segundo ao sistema GPS, por meio de ondas de radiofrequência. O equipamento demonstrado na Figura 33 e integrado ao (AL) monitora a radiação durante toda aplicação. O acompanhamento em tempo real é realizado pelos transponders e funcionam como um localizador que sinaliza ao acelerador linear se a área a receber o feixe está corretamente posicionada. O sistema emite um alerta quando o alvo encontra-se fora dos limites aceitáveis, e interrompe o feixe, sendo possível a realização de correções durante o tratamento. O Calypso apesar de ser um dispositivo que realiza IGRT não gera imagem, portanto o paciente não recebe nenhuma dose além da prescrita para seu tratamento. Uma desvantagem pode ser o alto custo dos transponders. (FURNARI; FAIRBANKS, 2019)



Figura 32: Ultrassom IGRT

Fonte: HCorOnco, 2019.

Mesa robótica 6D:

A mesa robótica possui 6 graus de liberdade (4 convencionais + Pitch e Roll), e foi desenvolvida para as técnicas de alta precisão em radioterapia, para promover maior acurácia e sucesso na reprodutibilidade do tratamento. Compõe dois novos eixos de rotação, a inclinação e a rolagem, beneficiando o uso da tecnologia de IGRT. Os seis eixos de movimentação da mesa são: longitudinal, horizontal, vertical, rotacional, de altura e rolagem conforme Figura 32. Para que a realização das medidas na mesa de tratamento seja de forma confiável, frequentemente são efetuados testes de controle de qualidade e de verificação do desempenho da máquina *Machine Performance Check (MPC)*, obtendo assim maior precisão com a redução das margens de tratamento devido a erros de configuração (*set up*). (MORIMOTO, 2018)

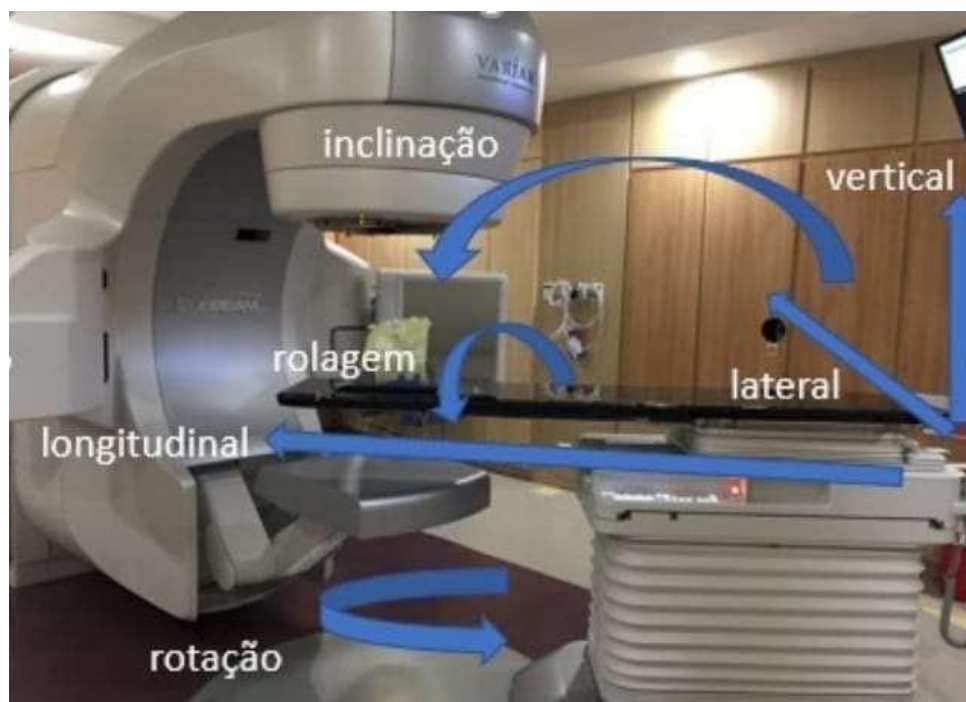


Figura 33: Mesa Robótica com 6 graus de liberdade.

Fonte: Morimoto, 2018

Principais equipamentos que podem realizar IGRT

As figuras 34 a 37 apresentam os diversos tipos de equipamentos e aceleradores que dispõem de IGRT com suas tecnologias:



Figura 34: Equipamentos de IGRT

Fonte: Leonardo Peres

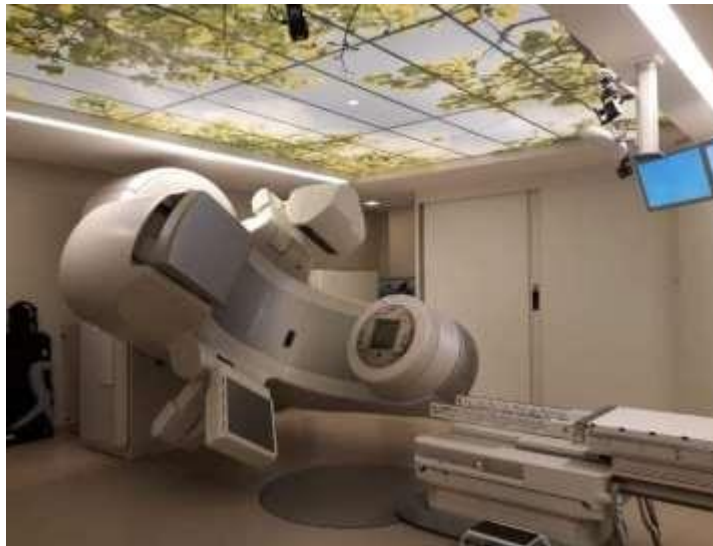



Figura 35: Ultrassom Varian Calypso

Fonte: Radioterapia Hospital Moinhos de Vento HMV / Porto Alegre RS

Componentes do sistema
de IGRT do Trilogy



- EPID e OBI:
 1. Emissor kV (KVS)
 2. Detector kV (KVD)
 3. Detector MV (EPID)

↓

- Radiografia digital
- Fluoroscopia
- Imagem em MV
- CT com feixes cônicos (CBCT)




Figura 36: IGRT Trilogy

Fonte: INCA, 2020.

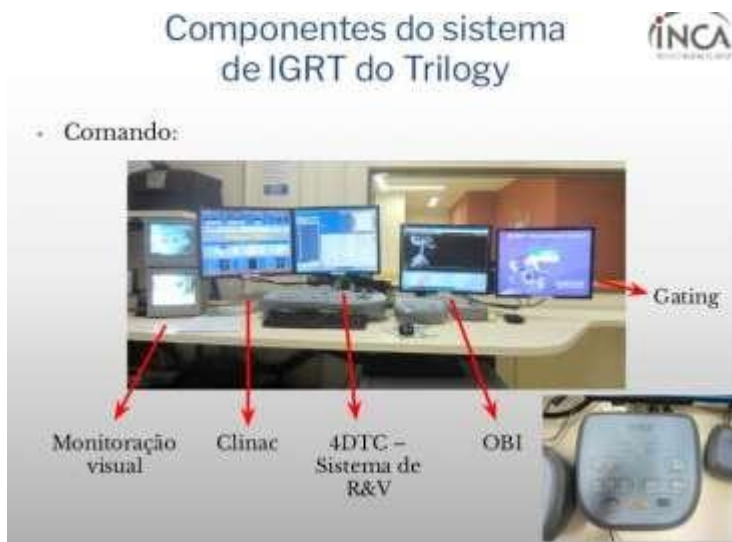


Figura 37: Console de comando do Trilogy

Fonte: Inca, 2020.

Protocolos de IGRT

Todo protocolo de imagem deve conter três fatores: frequência, tolerância e nível de ação. Os fatores mais adotados nos protocolos de IGRT são:

- Imagens nas três primeiras frações, posteriormente uma vez por semana;
- Margem de tolerância aceitável menor ou igual a 5 mm;
- Níveis de ação (reposicionamento do paciente).

A tolerância é a variação observada permitida de uma medida ou e parâmetro, deve estar relacionada com as margens usadas para tratamento como o objetivo de manter uma cobertura de dose adequada no CTV. As tolerâncias utilizadas na prática levam em consideração alguns fatores, incluindo:

- Métodos e práticas de imobilização;
- Movimentação de órgãos internos;
- Limitações na movimentação do equipamento.

O nível de ação: É o ponto em que uma ação ou intervenções são necessárias:

- Mais imagens no dia seguinte;
- Rever erros sistemáticos, corrigir o posicionamento do paciente e refazer as marcações;
- Interromper o tratamento e reposicionar o paciente na mesa, pois a variação consiste em erro grosseiro.

Os protocolos de IGRT podem ser amplamente divididos nas categorias OFF-LINE e ON-LINE:

OFF-LINE: São desvios das frações anteriores considerados e analisados ver Figura 38, e auxiliam a determinar o posicionamento das frações subsequentes. (FREITAS, 2020)

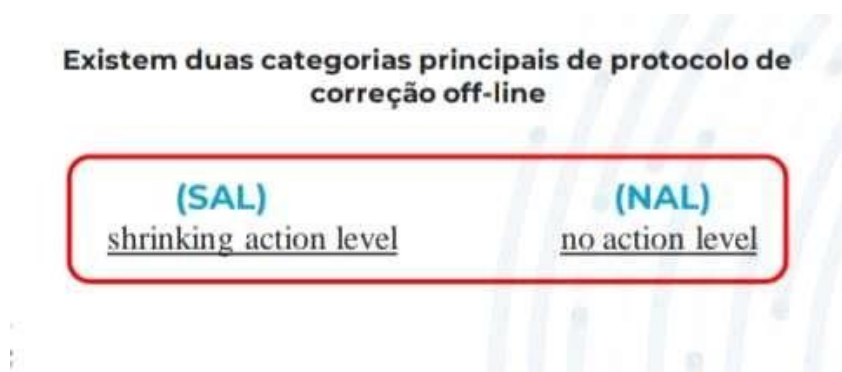


Figura 38: Protocolos SAL e NAL

Fonte: INCA, 2020.

Protocolo SAL: A média da incerteza sistemática é medida, e comparada a um limite predefinido ou nível de ação. A tendência do protocolo SAL de IGRT, deverá diminuir os erros sistemáticos com o passar do tempo, de maneira que o limite ou nível de ação diminua de acordo com o restante do curso e número de frações.

Protocolo NAL: Evita que um posicionamento seja corrigido prematuramente. A base do protocolo NAL, é o deslocamento médio produzido por uma melhor estimativa de erros sistemáticos, obtidos após uma série de frações de tratamento. O protocolo é estendido para inclusão de imagens semanais após as correções.

ON-LINE: É uma ação realizada imediatamente após a aquisição das imagens do paciente para determinar o desvio obtido, em relação à imagem de referência. De acordo com o protocolo ações são necessárias quando o desvio está acima do limite aceitável, incluindo:

- Nova abordagem do profissional técnico que deverá entrar em sala novamente, para verificação e correção do posicionamento do paciente;
- Remoção do paciente da mesa de tratamento, para correção de outros fatores como preenchimento da bexiga, e esvaziamento do reto. (FREITAS, 2020)

IGRT ideal para diferentes sítios de tratamento

A escolha do IGRT ideal é dada por vários fatores, o principal deles é através dos sítios de tratamento do paciente. As comparações entre as modalidades de IGRT, conforme mostra a Figura 39, comprovam e indicam as imagens satisfatórias para cada caso em particular, a seguir podemos verificar a comparação entre as modalidades de IGRT, e o que essa prática proporciona na rotina dos tratamentos.

Fusão de imagens de verificação



- Comparação entre as modalidades de IGRT

Característica por sistema	kV/kV	Marker Match com kV	3D com CBCT
Qualidade da imagem	+++	+++	+++
Velocidade de aquisição	+++	+++	+
Velocidade de avaliação	+++	++	+
Visibilidade anatômica	+	+++	+++
Dose	↓	↓	↑

Figura 39: Comparação entre imagens de IGRT

Fonte: Inca, 2020

Imagens KV-Kv:

Com predomínio do efeito Fotoelétrico, doses baixas e bom contraste, adequado para estruturas ósseas, tais como cabeça e pescoço. Figura 40.

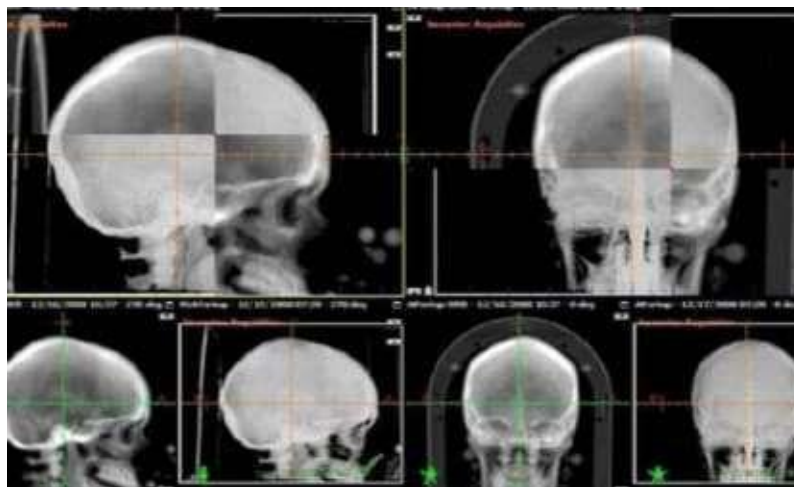


Figura 40: IGRT kV-KV adequado para estrutura óssea

Fonte: INCA, 2020

Imagem Mv-Mv:

Com predomínio do efeito Compton, baixo contraste, adequado para músculo da mama e ar. Figura 41.

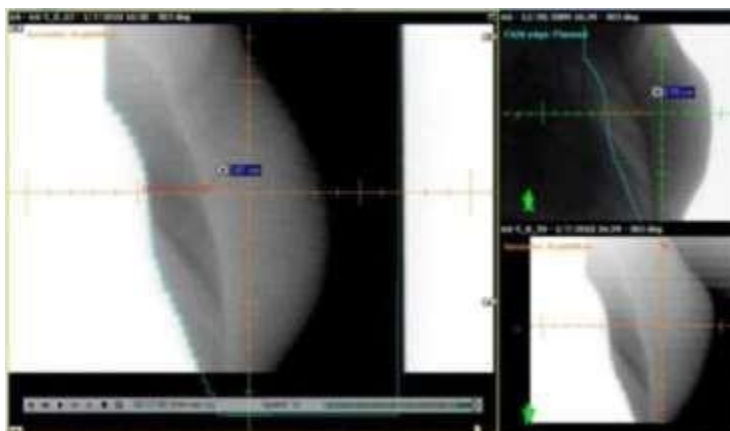


Figura 41: IGRT Mv-Mv adequado para mama. Fonte: INCA, 2020.

Imagem CBCT:

Possibilita uma melhor visualização dos alvos, tecidos moles e a verificação do preparo do paciente, além da avaliação da necessidade de retomografar pode ser observada. Modalidade de Imagem adequada para tratamento de próstata, conforme mostra a Figura 42. (FREITAS, 2020)



Figura 42: CBCT de Próstata.

Fonte: INCA, 2020.

IGRT X Hipofracionamento de dose

Concordante a estudos recentes o hipofracionamento de dose é uma técnica que caminha rumo à consolidação de tratamento padrão-ouro, que diminui o período de tratamento preservando resultados terapêuticos e as margens de tecidos saudáveis, utilizado de forma segura e eficiente com menos aplicações, com doses mais altas por fração quando comparado ao método convencional. A tecnologia de Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) é fundamental para o

hipofracionamento vindo a ser um referencial adotado nos grandes centros de tratamento radioterápicos na atualidade. (SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA, 2018)

À medida que falamos em hipofracionamento de dose, o estudo dos princípios 5Rs da Radiobiologia se faz indispensável, são eles:

- **Reparo:** Reparo do dano sub-letal é o dano que pode ser reparado em horas, caso não seja adicionado novo dano, aumentando o intervalo entre frações, aumentará a sobrevida das células;
- **Repopulação:** Resposta precoce, pele, mucosa e tecidos epiteliais, intestinal, resposta lenta: medula. O prolongamento de tempo diminui o efeito nos tecidos de resposta tardia, mas poupa os tecidos de resposta precoce;
- **Redistribuição:** Do ciclo celular com maior sensibilidade na mitose (Divisão celular geneticamente idêntica à célula original);
- **Reoxigenação:** Com a radiação a geração de radicais livres nas células mais oxigenadas é intensa, e estes são responsáveis pelo dano ao DNA. A reoxigenação das células tumorais é um processo que pode durar em torno de 6 horas;
- **Radiossensibilidade:** É o grau e a velocidade de resposta dos tecidos que foram irradiados. Segundo Tribondeau e Bergonier a radiossensibilidade está associada à atividade mitótica da célula, quanto mais indiferenciado e proliferativo o tecido, mais sensível esse será à radiação.

O conceito dos 5Rs define que o reparo de dano e a repopulação estão para a proteção dos tecidos normais, e a redistribuição, reoxigenação e a radiossensibilidade para o maior dano possível. (BERNARDINO, 2019)

O objetivo do hipofracionamento de dose é tratar tumores com a relação alfa / beta pequena, e o comportamento é semelhante a tecidos de resposta lenta. Com

doses diárias altas acima de 2Gy por períodos curtos, sendo um tratamento acelerado, que minimiza o efeito de proliferação do tumor. O intervalo de tempo entre as frações deve ser suficiente para que cada um dos 5Rs realize seu papel. Não devendo ser menor que quatro horas, sendo o ideal acima de seis horas. Há evidências de que tumores de pulmão, próstata e mama possuem tecidos de resposta lenta. (MUNDT; ROESKE, 2011)

Doses de diferentes protocolos de Hipofracionamento:

- Mama: 2,5 a 3,3 Gy por fração;
- Próstata: 2,7 a 3,1 Gy por fração;
- Pulmão: até 10 Gy por fração.

No hipofracionamento há a necessidade do controle de incertezas de posicionamento, sempre associado a altas tecnologias: IMRT, IGRT, TC4D.

Algumas condições favoráveis são:

- Tumor bem estadiado e forma de disseminação bem compreendida;
- Cobertura do GTV, e pouca cobertura de regiões profiláticas (Prevenção/Cautela);
- Minimização de erros de posicionamento;
- Tratar pequenos volumes com doses altas= IGRT

Hipofracionamento + IGRT promovem:

- Aumento da dose total de tratamento;
- Diminuição da toxicidade;
- Maior possibilidade de controle da doença;

Aumento da dose por fração de diversos protocolos de tratamento. (MUNDT; ROESKE, 2011)

Toxicidade e qualidade de vida

A radioterapia guiada por imagem permite a visualização do tumor e corrige os erros causados pelo movimento interno de órgãos no momento do tratamento, ex: próstata. Adequadamente a IMRT é a principal opção terapêutica indicada para o tratamento de câncer de próstata localizado CID C 61, entre outros. De acordo com NAKAMURA e autores, após comparar retrospectivamente o uso da técnica de IMRT/IGRT com as toxicidades agudas e os resultados de controle bioquímico do tumor de próstata, no qual usaram duas técnicas de IGRT: uma com base na estrutura óssea (B-IGRT), e outra do órgão propriamente dito (próstata P-IGRT). Onde os períodos médios de acompanhamento para os pacientes de ambos os grupos foram de 32, 42 e 64 meses especificamente, obtiveram os seguintes resultados:

- Foi observada com significativa redução da toxicidade gastrointestinal aguda superior ou igual a dois, no grupo com base na próstata (P-IGRT), em comparação ao grupo da estrutura óssea (B-IGRT), como parâmetro de análise.
- Foi analisado que a (IMRT P-IGRT), permitiu a redução da margem de PTV sem sacrificar o controle tumoral, o que reduziu com sucesso a toxicidade retal aguda em comparação com (IMRT B-IGRT). (NAKAMURA, K. et al Int J Clin Oncol, 2018)

A toxicidade radioinduzida pode ser dividida em aguda que é quando ocorre dentro de 90 dias após a radioterapia, e a toxicidade tardia a partir de 90 dias após a conclusão da radioterapia mediante ao tempo Figura 43. (NAKAMURA, K. et al Int J Clin Oncol, 2018)

grau	TOXICIDADE AGUDA	grau	TOXICIDADE TARDIA
1	<ul style="list-style-type: none"> • Eritema ligeiro a moderado • Alopecia • Descamação seca • Hipohidrose 	1	<ul style="list-style-type: none"> • Atrofia ligeira • Alteração da pigmentação • Alopecia parcial
2	<ul style="list-style-type: none"> • Eritema moderado a intenso • Pele sensível • Descamação húmida irregular • Edema moderado 	2	<ul style="list-style-type: none"> • Atrofia moderada • Telangiectasias moderadas • Alopecia total
3	<ul style="list-style-type: none"> • Descamação húmida confluyente (não restrita a pregas cutâneas) • Edema marcado 	3	<ul style="list-style-type: none"> • Atrofia marcada • Telangiectasia marcadas
4	<ul style="list-style-type: none"> • Ulceração • Hemorragia • Necrose 	4	<ul style="list-style-type: none"> • Ulceração

Tabela 1: Escala RTOG/EORTC Acute Radiation Scoring Criteria [SKIN]

Tabela 2: Escala RTOG/EORTC Late Radiation Morbidity Scoring Schema [SKIN]

Figura 43: Toxicidade Aguda/Tardia. Fonte: Consensos e estratégias, 2015.

Algumas das toxicidades do tratamento prostático são:

- Cistite;
- Espasmos na Bexiga;
- Frequência, incontinência e urgência urinária;
- Gastrointestinais;
- Incontinência fecal;
- Hemorróidas;
- Disfunção ejaculatória e erétil, etc. (CHIN, et. al, 2017)

Mas o que é a toxicidade de um tratamento radioterápico? É o conjunto de possíveis efeitos colaterais que esse tratamento poderá ocasionar. (GRUPO ONCOCLÍNICAS, 2020)

São múltiplas as complicações que ocorrem em pacientes que recebem a terapia da radiação. O perfil das toxicidades agudas manifesta-se de diferentes formas, dependendo da área irradiada, por exemplo: as pacientes com câncer de mama (CID C50) são irradiadas no tórax, e a estrutura envolvida que mais apresenta toxicidade aguda é a pele, chamada radiodermite. Essa condição é a toxicidade predominante e manifesta-se mais frequentemente nas primeiras duas semanas do tratamento, provavelmente devido à hipersensibilidade dos tecidos e a frequência da radiação recebida no local. Reação esta que conseqüentemente afetará a qualidade de vida das pacientes, com aparecimento de eritema conforme mostra a Figura 44, que é a primeira manifestação evidente, caracterizada por pele seca e sensível, sensação de repuxamento e prurido, causando dor, desconforto, irritação local e queimação, limitando as atividades diárias dessas pacientes. (SILVEIRA, FREITAS et. al, 2016)



Figura 44: Exemplos de eritema na pele (eritema ligeiro, moderado e intenso).
Fonte: Consensos e estratégias, 2015.

Outro exemplo de toxicidade aguda é o que ocorre em pacientes que tratam Câncer do Colo Uterino (CCU) (CID C53) e de endométrio (CID C54), que são irradiadas na pelve onde ocasionam o surgimento de outros sintomas e reações envolvendo outras estruturas e não somente a pele, tais como intestinal, mucosa vaginal e aparelho geniturinário. Em 1982, foi desenvolvido pelo Grupo de Radioterapia e Oncologia (Radiation Therapy Oncology), o critério de Escore

para morbidade aguda por radiação, que foi elaborado com o intuito de classificar os efeitos da radioterapia identificados por graus: zero, um, dois, três e quatro. Vindo a facilitar a identificação da situação clínica dos pacientes, demonstrando os sinais e sintomas de acordo com essa classificação. Esse escore é empregado há mais de 25 anos, aceito e reconhecido pela enfermagem e área médica, com parâmetros indispensáveis para as avaliações semanais da consulta de revisão médica na radioterapia. (SILVEIRA, FREITAS et. al, 2016)

O conceito de qualidade de vida (QV) é o resultado da combinação de fatores subjetivos, como o grau de satisfação geral de um indivíduo com a própria vida, e de fatores objetivos, como sua condição espiritual, material, boas relações familiares, enfim, vários itens que somados proporcionam tranquilidade, confiança, segurança e bem-estar. (ATUALIZAÇÃO PARA TÉCNICOS EM RADIOTERAPIA INCA, 2010). A abordagem multiprofissional do cuidado integral ao paciente oncológico realiza avaliação da QV desses pacientes, sendo essa uma prática indispensável nos dias atuais, adotada para considerar os resultados do tratamento, o quadro real e a perspectiva geral do indivíduo. A enfermagem possui papel fundamental na avaliação clínica desses pacientes. Monitorar os sinais e sintomas da doença e os efeitos colaterais da terapia são recursos essenciais que refletem diretamente na qualidade de vida dos sobreviventes do câncer. O técnico em radioterapia que recebe seu paciente todos os dias na sala de tratamento, deve levar em consideração toda e qualquer anormalidade percebida. Tão logo essas alterações sejam detectadas, o bom profissional tem por conduta encaminhar o paciente para área clínica, e ou à enfermagem, onde as condições do paciente serão avaliadas, liberando o mesmo para prosseguir seu tratamento, ou não. (SILVEIRA, FREITAS et. al, 2016)

Ficha de tratamento do paciente

O INCA HCI é um centro de referência para o tratamento do câncer, situado na cidade do Rio de Janeiro, que faz parte da rede de alta complexidade do SUS, e oferece atendimento totalmente gratuito e de qualidade aos pacientes oncológicos. O hospital presta atendimento à pacientes de várias partes do Brasil inclusive da América Latina, nele são realizados procedimentos que compreendem desde consultas de revisão, ambulatoriais até cirurgias de alta complexidade, cirurgia robótica, quimioterapia (QT) e radioterapia dentre outras, e internação hospitalar. (INCA, 2021)

Quando os pacientes ingressam na instituição, recebem um cartão de identificação, e após realizarem a TC de planejamento, adquirem uma documentação que irá acompanhá-lo durante todo o tempo de seu tratamento oncológico, a esse documento é dado o nome de Ficha de tratamento do paciente. Nela constam todos os dados do paciente que serão informados e registrados, posteriormente todos os profissionais que prestam atendimento a esse paciente, irão utilizar a ficha para obtenção das informações nela contidas. A ficha é individual, e todos os dados são informatizados para acompanhamento médico juntamente com o físico designado para cada caso clínico. Na primeira parte da ficha, Figura 45, consta o ID de identificação mesmo número de seu prontuário de atendimento, nome, idade, diagnóstico estadio da doença (TNM), código internacional de identificação de doenças (CID), sexo, intenção de tratamento: se a radioterapia será radical ou paliativa, o aparelho designado para tratamento, e o horário que irá tratar. Cada ficha contém uma imagem impressa ilustrando e representando o paciente e sua parte anatômica de tratamento. Nessa parte frequentemente os médicos e físicos também realizam anotações importantes, como desenho de campo e área demarcada, ponto do isocentro de tratamento, etc. Ainda na parte frontal inferior, temos uma área para preenchimento médico com informações de número de campo, tamanho,

localização anatômica, tipo de feixe de radiação, dose em cGy total e diária, número de aplicações, profundidade do tratamento em cm, dose máxima por campo, duração do tratamento em semanas, também como as distâncias Antero Posterior (DAP), distância Látero-lateral (DLL), e distância Pósterio Anterior (DPA). Espaço para assinatura e carimbo médico, e médico residente, juntamente com a data de aprovação do tratamento.

INCA Ministério da Saúde **RADIOTERAPIA**

IDENTIFICAÇÃO DO PACIENTE

IDENTIFICAÇÃO ANATÔMICA E SÍTIO ACOMETIDO

IMAGEM DIÁRIA - CBCT

DOSE DIÁRIA

IMAGEM DIÁRIA - CBCT

NÚMERO DE APLICAÇÕES

DOSE TOTAL

ASSINATURA DO STAFF MÉDICO

ASSINATURA DO RESIDENTE MÉDICO

Aplicação	Local	Medicamento	Tipo de feixe	Distância	Profundidade	Tempo	Unidade	Angulação	Filtro	Arco
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Figura 45: Ficha de tratamento do paciente/ frente

Fonte: Da autora

Na parte interna Figura 49 o primeiro espaço é designado para anotações dos físicos médicos, onde contêm informações inerentes a sua área de atuação, como número e tamanho de campo, aparelho, energia, distância fonte superfície, dose tumor diária, dose tumor total, tempo de aplicação unidade monitora dada em U.M, angulação do Gantry, filtro e arco.

A seguir os espaços são para preenchimento do Técnico em Radioterapia observamos na Figura 46. Parte imprescindível e de muita atenção para o profissional obter a realização completa do seu atendimento ao paciente. O Espaço é destinado para as seguintes anotações: dia da semana em que tratou data dia mês e ano, tratado por: (Nome do profissional com sua assinatura), o tempo em U.M que é descrita pela Física Médica, dose tumor diária, e observações que sejam relevantes de anotações, Ex: nesse espaço geralmente anota-se a conferência das imagens que são realizadas em cada dia do tratamento, como as de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT), tanto as que possuem orientação de imagem diária ou não. Outra anotação importante feita pelos técnicos são as referentes às variações das medidas em mm, obtidas com as possíveis mudanças dos eixos x, y e z que correspondem à largura (lateral, vertical e longitudinal de mesa), que foram obtidas após a fusão da imagem com a TC de referência e planejamento na prática conhecida como deslocamento.

O diagrama mostra uma ficha de tratamento de radioterapia com várias seções. As setas apontam para as seguintes áreas:

- FÍSICOS:** Aponta para a seção superior da ficha, contendo dados de planejamento e parâmetros físicos.
- PREENCHIMENTO DIÁRIO DOS TÉCNICOS:** Aponta para a seção central da ficha, contendo tabelas de monitoramento diário.
- DIAS DA SEMANA:** Aponta para a seção inferior da ficha, contendo uma tabela para anotar os dias de tratamento.
- UNIDADE MONITURA UM:** Aponta para a seção inferior da ficha, contendo uma tabela para anotar as unidades monitoradas.
- CONFERÊNCIA DO CONE BEAN DIÁRIO:** Aponta para a seção superior da ficha, contendo uma tabela para anotar as conferências diárias.

Figura 46: Ficha de tratamento do paciente/ parte interna Fonte: Da autora

Os médicos também realizam anotações extremamente relevantes tais como carimbo com a data do início do tratamento, observações do estado de saúde do paciente, etc. O espaço reservado encontra-se ao longo da segunda parte interna da ficha de tratamento identificado como comentários médicos Figura 47.

IDENTIFICAÇÃO DE CAMPO

COMENTÁRIOS E AVALIAÇÕES MÉDICAS

23/10/2011
 Paciente RA
 Cavaca
 20/11/2011
 INÍCIO DE TRATAMENTO
 APARELHO TRILOGY
 RÁDIO-ONCOLOGISTA
 FÍSICA MÉDICA
 DATA: 20/11/2011
 RAFAEL CAVACA

Figura 47: Ficha de tratamento do paciente/ avaliações médicas

Fonte: Da autora

Por último na parte inferior externa, na Figura 48, consta um espaço para preenchimento chamado resumo do tratamento onde o médico deverá registrar o tipo de radiação empregada, dose tumor total, data do início e fim previsto para o tratamento, número de aplicações, e observações que sejam necessárias (comentários e prescrições dos médicos). Por fim constam a data e assinatura do médico responsável.

The image shows a detailed patient treatment record form. The form is divided into several sections. At the top right, there is a box labeled 'LIBERAÇÃO DO PLANEJAMENTO FÍSICO'. Below it, there is a section for 'ASSINATURA DOS FÍSICOS' with two signature lines. The middle section is labeled 'RESUMO DO TRATAMENTO' and contains handwritten notes. At the bottom right, there is a section for 'ASSINATURA DO MÉDICO RESPONSÁVEL' with a signature line. At the bottom left, there is a section for 'DATA DO INÍCIO' with a date field. The form also includes various fields for patient information, treatment parameters, and dates.

Figura 48: Ficha de tratamento do paciente/ parte inferior externa

Fonte: Da autora

O papel do técnico com o uso do IGRT no posicionamento diário do paciente A radioterapia externa possui várias técnicas de tratamento, todas elas necessitam de um posicionamento e alinhamento preciso, com uma imobilização adequada ao paciente, que proporcione a reprodutibilidade do tratamento, tornando-o possível e suportável para que o paciente possa estar na posição desejada todos os dias de seu tratamento. A reprodutibilidade é a excelência da radioterapia, que deverá ser mantida sequencialmente para facilitar a visualização das estruturas que servem de parâmetros e análises no momento de aquisição das imagens. (SALVAJOLI, SOUHAMI, FARIA, 2013)

Na sala de tratamento, o profissional técnico de radioterapia dispõe de

acessórios que o auxiliam na imobilização do paciente, prática, eficiente e reprodutível durante todo o tratamento. Esse profissional deve ser capaz de coletar, interpretar e utilizar os dados da prescrição que constam na ficha de tratamento do paciente, para adequar a sala ao tipo de tratamento proposto. Cabendo a esse profissional identificar e respeitar as características e necessidades individuais de cada paciente quanto a possíveis restrições de seus movimentos. Devendo também observar com atenção se o paciente apresenta dificuldades respiratórias ou de decúbito, bem como fobias nos casos de uso de máscaras termoplásticas para imobilização nos tratamentos dos tumores de CP. Dentre os profissionais da equipe multidisciplinar do atendimento oncológico por radioterapia, o técnico é o que possui maior contato com o paciente, realizando atendimento diário e deve ser o primeiro a identificar essas possíveis alterações que podem vir a prejudicar a entrega da dose. (SALVAJOLI, SOUHAMI, FARIA, 2013)

Antes de iniciar a sessão de radioterapia, a ficha do paciente é analisada pelo técnico com objetivo de programar e adequar à sala de tratamento as necessidades de cada paciente, mantendo o planejamento prescrito pelo médico radioterapeuta e o plano da física médica, adquiridos anteriormente nas etapas da TC de planejamento e simulador. (FARIA et al., 2013). As doses são entregues ao paciente em sessões diárias em frações de dose prescrita, devendo ser respeitado o intervalo mínimo de 12 horas entre uma aplicação e outra, para que os tecidos sadios se recuperem. São realizadas rotinas de controle de qualidade de imagens nos primeiros quatro dias do tratamento, posteriormente esse processo é repetido a cada sete dias (dependendo do protocolo de imagens adotado Sal ou Nal).

Faz parte da função do técnico ter conhecimento dos volumes do alvo de tratamento (GTV, CTV, PTV) assim como os OARs adjacentes. O conhecimento de anatomia, é indispensável para atingir a boa prática diária. O domínio técnico é de suma importância, pois no momento da conferência da TC de planejamento

com o CBCT, o equipamento irá proporcionar ao profissional a possibilidade de fundir uma imagem com a outra. em seguida, o técnico irá observar as variações consideradas para cada protocolo de tratamento. O software do equipamento possui uma tecnologia que permitem vários ajustes na imagem, que auxiliam e evidenciam todas as estruturas delineadas e selecionadas na árvore do plano, favorecendo a identificação adequada das mesmas.

Quando houver a necessidade de entrar em sala, o tratamento deverá ser interrompido para o reposicionamento do paciente, novamente serão passadas orientações para que o paciente mantenha a posição, informando ao mesmo que ele é observado por câmeras, e que os profissionais estão atentos a quaisquer intercorrências que possam aparecer. Também é possível o paciente escutar a voz do técnico através do sistema de intercomunicação instalado em sala. Posteriormente o CBCT será realizado novamente, e as variações não deverão exceder as margens de tolerância previstas para cada sítio de tratamento nos protocolos de imagem. Concluindo seu papel para a sessão de radioterapia, o técnico deverá observar e conferir com bastante atenção se as imagens com o uso do IGRT no posicionamento diário do paciente foram fundidas de maneira correta, e reproduzir com a maior precisão possível as mesmas condições todos os dias do tratamento. O papel do técnico no posicionamento diário do paciente aplicando a tecnologia de IGRT é extremamente importante pois garante maior segurança devido a sincronização com a qual a radiação é empregada, em relação com as possíveis movimentações dos órgãos internos ou do corpo do paciente durante a sessão. A tecnologia de IGRT também utiliza ferramentas para detecção dos movimentos respiratórios do paciente, contribuindo para atingir a acurácia evitando que a radiação ocorra em regiões fora do alvo de tratamento. A seguir podemos observar imagens realizadas em uma sessão de tratamento radioterápico, com o uso de IGRT.

Nas Figuras 49 a 54 apresentam imagens que foram obtidas no INCA HCI, equipamento Acelerador Linear Trilogy Varian, cedidas com autorização da Física Médica, Setor Radioterapia, demonstrando o uso do IGRT diário para tratamento de próstata hipofracionada. O paciente selecionado realizou tratamento para um segundo PTV de estrutura óssea demonstrada na Figura 56. Todas as fontes são do setor Física Médica, INCA.

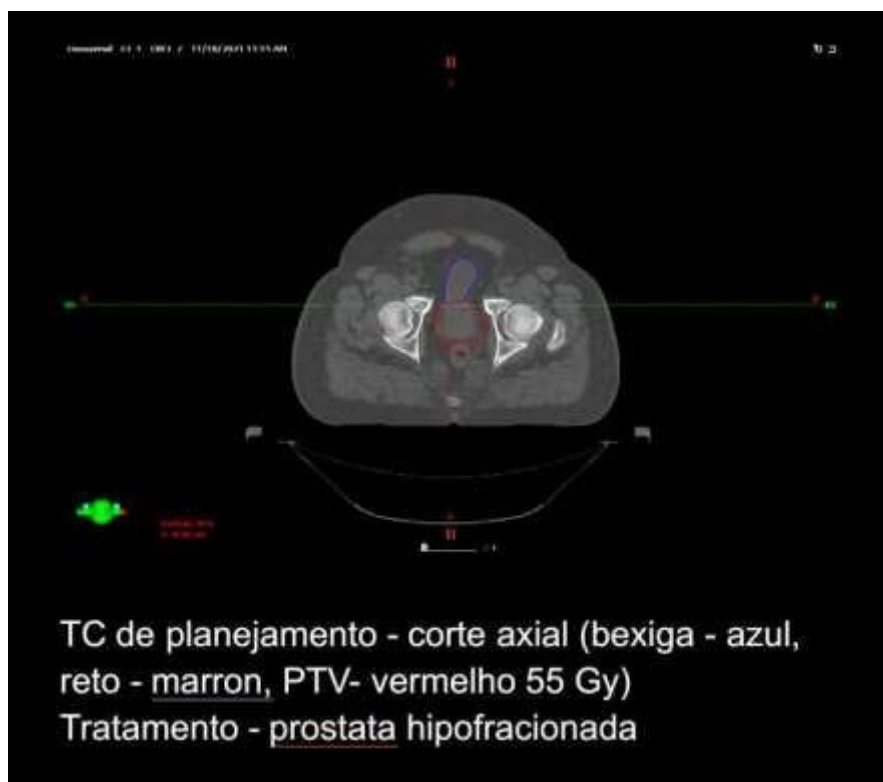


Figura 49: TC de Planejamento Corte Axial Tomógrafo Big Bore

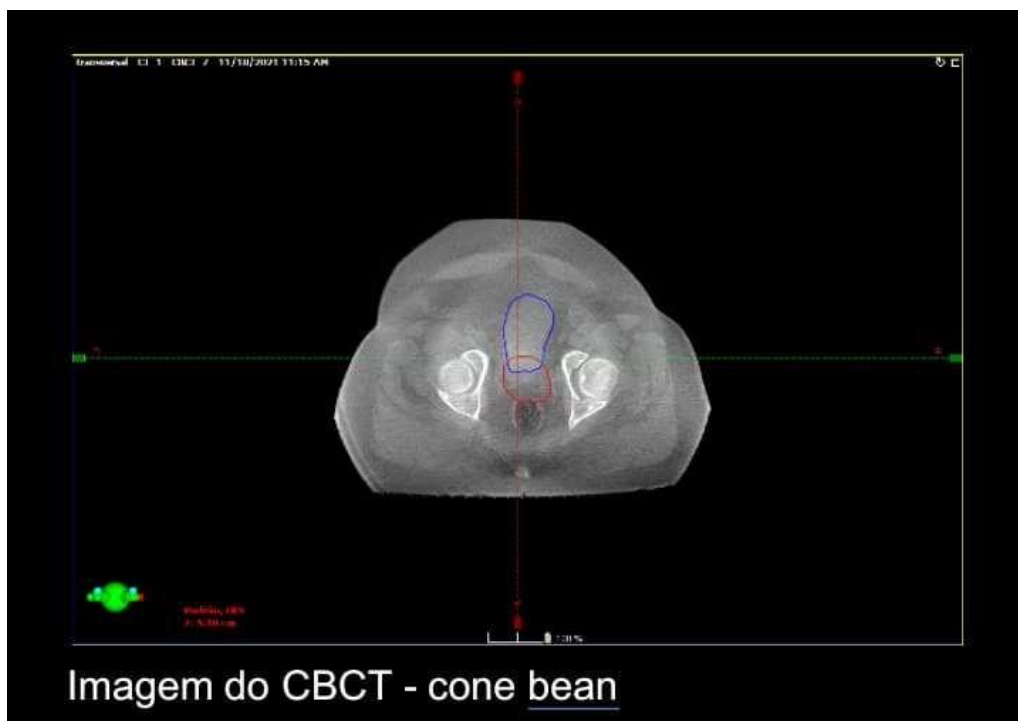


Figura 50: CBCT de Próstata





Figura 52: CBCT corte Sagital

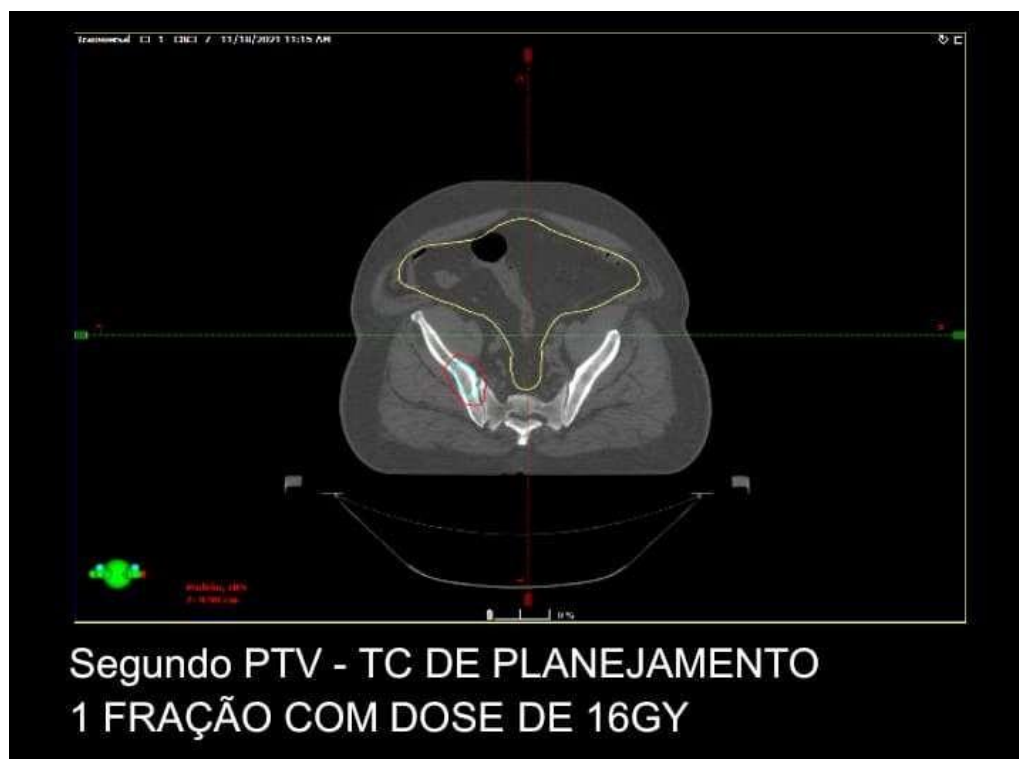


Figura 53: Segundo PTV – TC de planejamento

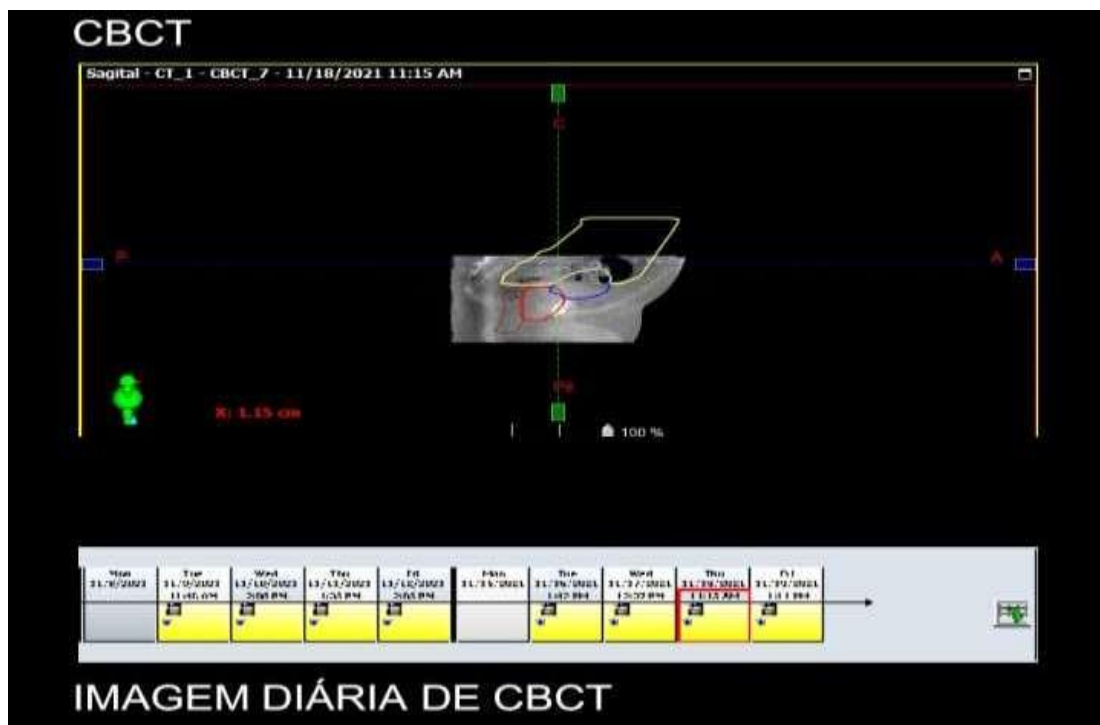


Figura 54: Imagens de CBCT diário

6 CONCLUSÃO

A realização desse trabalho de conclusão de curso foi desenvolvida em uma das áreas em permanente ascensão para a oncologia, a Radioterapia. Conhecida como uma modalidade terapêutica de tratamento oncológico que visa impedir o crescimento e a multiplicação de células tumorais malignas, com o menor dano possível aos tecidos saudáveis.

Para atingir esse objetivo com maior precisão, foi desenvolvida a tecnologia de Radioterapia Guiada por Imagem ou (IGRT), que veio a consolidar as técnicas de tratamento já existentes. Durante a sessão de radioterapia para que o IGRT seja corretamente aplicado, deverão ser respeitados protocolos que são adequados para diferentes sítios de tratamento. Regularmente são realizados testes para os diversos dispositivos utilizados, com ênfase na geometria, na qualidade da imagem, no sistema operacional e no controle de qualidade, com o intuito de garantir a segurança do paciente e a precisão nos tratamentos. Com o uso do IGRT é possível entregar ao alvo desejado uma maior quantidade de dose por aplicação em frações reduzidas, e ao mesmo tempo poupar os tecidos saudáveis adjacentes favorecendo assim o hipofracionamento de dose. Conclui-se que o IGRT não é uma técnica de entrega de dose, mas auxilia adequadamente em todo o processo da aplicação por radioterapia externa, com acurácia e maior precisão.

À medida que, essa tecnologia mostra-se cada vez mais relevante para os tratamentos radioterápicos, se faz indispensável o entendimento de que o IGRT não realiza tudo, pois o papel do profissional técnico em Radioterapia é de suma importância para que todo tratamento seja executado conforme o planejado, de forma a promover a reprodutibilidade todos os dias que o paciente necessita para tratar. Complemento que, esse trabalho de conclusão mostrou-se de grande importância pessoal e profissional, vindo a ampliar meus conhecimentos nessa área de atuação, acredito e espero que este possa contribuir com futuros estudantes que pretendam cursar essa especialização técnica em radioterapia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. E. **Bases Físicas de um Programa da garantia da Qualidade em IMRT**. Rio de Janeiro: Centro de Estudos do Instituto de Biologia Roberto Alcantara Gomes/ UERJ, 2012.

ALMEIDA, Carlos Eduardo; HADDAD, Cecília Kalil; FERRIGNO, Robson. **Radioterapia baseada em evidências- Recomendações da Sociedade Brasileira de Radioterapia: A evolução técnica da radioterapia externa**. 1º Ed, São Paulo: SBRT, 2011. p. 22-24

BERNARDINO, Thiago. **Fracionamento: Princípios Radiológicos e prática clínica**. Instituto Nacional de Câncer-INCA- Rio de Janeiro, 2019.

BLANK; RIDHOG; LARSEN; CLEMENTSEN; JOSIPOVIC; AZNAR; ROSENSCHOLD; JOLCK; SPECHT. **Clinical and Translation Radiation Oncology**. 2018.

BRAINLAB. **Manual do usuário clínico - ExacTrac**. 5. ed. Alemanha, 2011.

CAETANO, Derick Nunes; FRESSATTI, Thiago; SOUZA, Sarah Oliveira de; DIAS, Juliana R; LAUANNA, Thalita. **Avaliação da funcionalidade de um dispositivo de verificação automática de posicionamento 2D (EPID) para radioterapia**. Curso Superior de Tecnologia em Radiologia- ICESP, São Paulo, 2010.

CHIN, Stephen; AHERNE, J Noel; LAST, Andrew; ASSAREH, Hassan; SHAKESPEARE, Thomas P. **Toxicidade após radioterapia de intensidade modulada guiada por imagem pós-prostatectomia**. Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology, New Zealand, 2017.

DIMENSTEIN; Renato; HORNOS; Y, M. **Manual de Proteção Rdiológica aplicada ao radiodiano**. 1º Ed. São Paulo: Editora Senac, 2013. P, 1-17.

FARIA S. L; SALVAJOLI, J. V.; SOUHAMI, L. **Radioterapia em Oncologia**. São Paulo: Editora MEDSI, 1999, p. 135-146.

FREITAS, T. M. **IGRT e suas modalidades**. Instituto Nacional de Câncer-INCA, 2020.

FURNARI, Laura; FAIRBANKS, Leandro. **Radioterapia Guiada por Imagem: Técnicas e controle de qualidade**. Revista Brasileira de Física Médica – São Paulo, v. 13 nº 1 p. 101, 2019.

GRUPO ONCOCLÍNICAS. **Definição de Toxicidade**. Disponível em: <<https://www.grupooncoclinicas.com/toxicidade>> Acesso em: 14 set 2021.

GUNDERSON; LL, Teper J E. **Clinical Radiation Oncology**. 2º Ed. E.

Philadelphia: Elsevier, 2007.

HISTÓRIA DA RADIOTERAPIA. Disponível em: <<https://www.radioterapiamg.med.br/historia-rxt>. Acesso em: 17 out 2021.

HOSPITAL MOINHOS DE VENTO. Radioterapia. Disponível em: <https://www.hospitalmoinhos.org.br/servico-ambulatorial/radioterapia/>. Acesso em: 14 set 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER- INCA. **Atualização para Técnicos em Radioterapia.** Rio de Janeiro. 2010, p. 24-96.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER-INCA. **Cartilha- Radioterapia** Disponível em: < <https://www.inca.gov.br> Acesso em: 16 nov 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER-INCA. **Manual para técnicos em Radioterapia.** Rio de Janeiro: 2000. Cap 4- p. 23-24.

Introdução à Radioterapia: Técnicas e Planejamentos. Disponível em: <<https://docplayer.com.br-introducao-a-radioterapia-tecnicas-e-planejamnetos.html> Acesso em: 1 set 2021.

JIN, Jian-Yue *et al.* Use of the BrainLAB ExacTrac X-Ray 6D system in image-guided radiotherapy. **Medical Dosimetry**, v. 33, n. 2, p. 124-134, 2008.

KHAN, Faiz M. **The Physics of Radiation Therapy.** 1º Ed. Lippincott Williams e Wilkens: Philadelphia USA, 2003.

MORIMOTO. Richard. **Avaliação da incerteza no posicionamento em Radiocirurgia com a mesa de tratamento angulada utilizando sistema de IGRT.** Dissertação para (Mestrado em Física). Universidade do Estado do Rio de Janeiro UERJ, p. 41, 2018.

MUNDT, A. J.; ROESKE, J. C. **Image- Guided Radiation Therapy- A Clinical Perspective.** Loyola Universiti- Chicago EUA: Hamilton, 2011.

NAKAMURA, K; MIZOWAKI, T; INOKUCHI, H. **Toxicidade aguda reduzida na radioterapia de intensidade modulada-para câncer de próstata com orientação de imagem baseada no órgão versus ossos.** Int J Clin Oncology nº 23, p.158-164, 2018.

NOUAILHETAS, Yannick; ALMEIDA, Carlos Eduardo; PESTANA, Sônia. **Radiações ionizantes e a vida.** Apostila Educativa. CNEN, p 3-20 Rio de Janeiro, 2015.

PERES, L. **Princípios Físicos e Técnicos em Radioterapia.** 1º Ed, Rio de Janeiro: Editora Rubio, 2018, p. 20-27 e p. 240.

RAMOS, M. E. Poli. **Definição do volume de planejamento do alvo (PTV) e seu**

efeito na radioterapia. Tese de Doutorado em Ciências na área da Tecnologia Nuclear- Aplicações Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- IPEN: São Paulo, 2007.

REVISTA BRASILEIRA DE FÍSICA MÉDICA. **Estudo comparativo de planejamento entre IMRT Sliding Windows e RapidARC para tratamentos de cabeça e pescoço.** INCA- 3º Ed. Rio de Janeiro: 2012 p. 137.

SALVAJOLI, J. V.; SOUHAMI, L.; FARIA S. L. **Radioterapia em Oncologia.** 2º Ed Rio de Janeiro: Editora Atheneu Ltda, 2013, p. 124-193

SCHILLER, Kilian *et al.* Impact of different setup approaches in image-guided radiotherapy as primary treatment for prostate cancer. **Strahlentherapie und Onkologie**, v. 190, n. 8, p. 722-726, 2014.

SEGRÈ, Emílio. **Dos raios x aos Quarks. Físicos modernos e suas descobertas.** 1º Ed. Brasília: Unb, 1987. p 29-39

SHARPE, Michael B.; CRAIG, Tim; MOSELEY, Douglas J. Image guidance: treatment target localization systems. In: **IMRT, IGRT, SBRT-Advances in the Treatment Planning and Delivery of Radiotherapy.** Karger Publishers, 2007. p. 72-93.

SILVA, Cíntia Mara da. **Análise da movimentação da próstata com fiduciais na radioterapia guiada por imagem.** Dissertação de Mestrado da Pós- graduação em Proteção Radiológica- Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Santa Catarina Florianópolis SC, 2017.

SILVEIRA, Freitas Caroline; REGINO, Patrícia Afonso; SOARES, Maurícia Brochado Oliveira; MENDES, Campos Lorena; ELLIAS, Thais Cristina; SILVA, Sueli Riul da. **Qualidade de vida e toxicidade por radiação em pacientes com câncer ginecológico e mama.** Escola Anna Nery- Minas Gerais, 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE RADIOTERAPIA. **Hipofracionamento de dose.** Disponível em: <[https:// www.sbradioterapia.com.br / congresso-sbrt-2018/hipofracionamento-tema-da-primeira-mesa-redonda-do-xx-congresso-da-sbrt](https://www.sbradioterapia.com.br/congresso-sbrt-2018/hipofracionamento-tema-da-primeira-mesa-redonda-do-xx-congresso-da-sbrt)>. Acesso em: 13 nov 2021.

SONKE, Jan-Jakob *et al.* Respiratory correlated cone beam CT. **Medical physics**, v. 32, n. 4, p. 1176-1186, 2005.

TODESCATTO, Tiago. **Princípios Físicos e Práticas de Radioterapia.** 2º Ed, São Paulo: Editora AgBook, 2018, p.235.