



RADIOTERAPIA GUIADA POR IMAGEM (IGRT): A IMPORTÂNCIA DA TECNOLOGIA NOS TRATAMENTOS RADIOTERÁPICOS

Anna Paula O. Guedes¹, Luciana B. Nogueira^{2,3}

¹ Hospital da Baleia, CEP: 30285-408, Belo Horizonte, MG, Brasil

² Departamento de Anatomia e Imagem, Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP: 30130-100, Belo Horizonte, MG, Brasil

³ Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP: 31270-970, Belo Horizonte, MG, Brasil

annapoguedes@gmail.com; lucibn19@gmail.com

Palavras-Chave: Radioterapia Guiada por Imagem, Métodos de Imagens, Tratamento Radioterápico.

RESUMO

A Radioterapia é uma opção terapêutica para pacientes oncológicos que utiliza radiação ionizante para impedir que as células tumorais malignas se multipliquem e sejam destruídas. É de extrema necessidade garantir que a entrega de dose de radiação nos tratamentos seja com precisão e acurácia, a fim de reduzir erros e garantir a aplicabilidade. Alguns serviços radioterápicos são dispostos de modalidades de imagens mais aprimorada da Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT). Essa tecnologia é capaz de realizar imagens na sala de tratamento com objetivo de melhorar a entrega da dose no volume alvo tumoral. E dessa maneira reduzir a radiação nos tecidos sadios adjacentes por meio de diversas modalidades que de imagens que podem estar acopladas no Acelerador Linear (AL). O objetivo desse trabalho foi descrever os métodos de imagens utilizados na tecnologia IGRT e a sua importância nos tratamentos radioterápicos. A metodologia se baseou em revisão da Literatura, no intervalo dos anos de 2001 a 2023 para demonstrar a evolução do IGRT, que inicia desde a utilização de radiografia médicas para checagem do posicionamento do campo de tratamento até aos métodos de imagens mais tecnológicos. Foram realizadas pesquisas em artigos científicos, sites de referência na área, livros e entre outros. Os resultados demonstraram as diferentes modalidades de imagens e equipamentos que realizam IGRT utilizadas nos serviços (kV/kV, Mv/Mv, CBCT, US, RM, TC), os protocolos utilizados nessa tecnologia, sua relação com os níveis de toxicidade e o sucesso terapêutico. Também foi descrito o papel do Tecnólogo em Radiologia na reprodutibilidade do posicionamento diário do paciente e a importância do seu conhecimento na tecnologia da IGRT. Pode-se concluir, que a evolução da tecnologia IGRT melhorou a qualidade de vida dos pacientes, como exemplo, a diminuição de efeitos adversos gerados no tratamento radioterápico. E que a busca por conhecimento e atualização dos Tecnólogos em Radiologia sobre a tecnologia IGRT, suas modalidades e aplicabilidades é fundamental para a entrega de um tratamento radioterápico eficaz para os pacientes oncológicos.

1. INTRODUÇÃO

De 2023 a 2025 é esperado pelo Instituto Nacional do Câncer 704 mil novos casos de câncer no Brasil. Câncer é um termo designado a um grupo de doenças de tumores malignos ou neoplasias, em locais do corpo humano [1]. O tratamento depende de vários fatores: o estadiamento da doença, idade e estado geral de saúde do paciente, sendo analisados de forma individual. A cirurgia, a radioterapia, a terapia hormonal e a quimioterapia são as escolhas de tratamento, sendo aplicadas isoladamente ou de forma combinada. No caso da radioterapia, se utilizam radiações ionizantes, para destruir as células cancerígenas ou impedir que elas se multipliquem. Esta se divide em duas modalidades de tratamento, teleterapia e braquiterapia [2]. Com avanço dos métodos de imagem, as técnicas de tratamento evoluíram e foram inseridas novas ferramentas capazes de melhorar a qualidade da terapia. Os primeiros tratamentos



radioterápicos eram realizados com base em imagens radiográficas 2D, o qual era visualizado apenas parâmetros ósseos. Em seguida foram substituídos por imagens 3D, que utiliza imagens volumétricas, permitindo melhor visualização de tecidos moles e da região a ser tratada. A Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), é capaz de localizar de forma precisa o tumor e órgãos acometidos antes e no instante do tratamento radioterápico, com maior acurácia e precisão. Essa tecnologia é capaz de diminuir os erros de posicionamento do paciente, garante a radiação precisa no volume alvo e reduz a radiação em órgãos de riscos. Dessa maneira, mostrar a aplicabilidade das diversas modalidades de imagens da (IGRT) nos tratamentos radioterápicos se mostra revelante [3]. Este trabalho teve como objetivo levantar os principais avanços tecnológicos da IGRT, além de ressaltar o papel do Tecnólogo em Radiologia com o uso dessa tecnologia.

2. METODOLOGIA

Consistiu em revisão da literatura do tema: “Radioterapia guiada por imagem (IGRT), por meio de pesquisas em sites e órgãos de referência da área, artigos científicos, e livros de radioterapia. A busca de material foi realizada entre 2001 e 2023. Foram pesquisadas as seguintes palavras-chaves: “radioterapia”, “IGRT”, “câncer”, “conebeam CT”, “técnicas de imagem”. As referências utilizadas por sites foram: INCA, *American Cancer Society*, *Radiology Oncology*, *Accuray Incorporated*, *ResearchGate*, Câncer em Foco e Sociedade Brasileira de Radioterapia. Foram utilizadas referências de três revistas científicas: Revista Brasileira de Cancerologia, Radiologia Brasileira e Associação de Enfermagem Oncológica Portuguesa. Também foram utilizadas uma Tese do IPEN e uma Dissertação da UNICAMP. E dois livros da área de radioterapia: Radioterapia em Oncologia e *Textbook of Radiation Oncology* foram utilizados. Um relato de vivência profissional em um serviço de radioterapia foi descrito, a fim de mencionar sobre os métodos de imagens que auxiliam no tratamento dos pacientes e a importância do seu conhecimento.

3. RESULTADOS

A IGRT é uma tecnologia capaz de verificar e correlacionar as imagens de referência feitas no planejamento do alvo tumoral, com as imagens em tempo real no tratamento. O objetivo é garantir que o alvo esteja dentro do campo de irradiação todos os dias de tratamento, garantindo que a dose diária seja entregue com exatidão, minimizando as incertezas no posicionamento do paciente e aumentando a reprodutibilidade. A escolha da modalidade de IGRT para ser utilizada, depende do sítio de tratamento [4].

3.1 Modalidades e Equipamentos IGRT

3.1.1 Imagens kV/kV planares 2D

Essa modalidade produz imagens de raios X da ordem de quilovolts (kV) nos aceleradores lineares (AL), Fig.1(A). O uso de fontes de imagem kV adquire imagens com melhor contraste devido a predominância de interações fotoelétricas. Assim, a imagem possui boa qualidade para visualizar ossos, e permite o ajuste do contraste no monitor para avaliação e correção do posicionamento do alvo, como tratamento de cabeça e pescoço, Fig.1(B) [4].

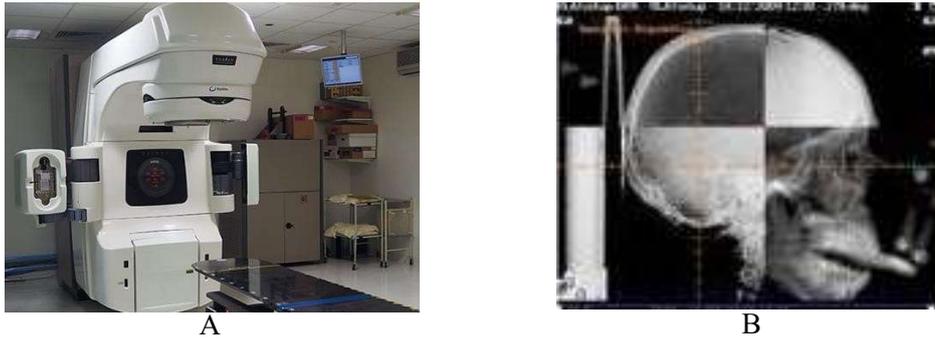


Fig 1. (A) AL com IGRT kV/kV acoplado e (B) Imagem radiológica IGRT kV/kV do crânio.
Fonte: [5,6]

3.1.2 Imagens Mv/Mv planares 2D

As imagens Mv/Mv criam imagens eletrônicas 2D de alta resolução com o feixe de tratamento em megavoltagem (MeV), Fig.2(A). Essas são comparadas com as Radiografias Reconstruídas Digitalmente (DRR's) da TC de planejamento. No início do uso de imagens Mv/Mv, adquiridas por filmes radiográficos, após a aquisição eram processadas em digitalizadora, após avanço tecnológico as imagens passaram a ser obtidas por detectores eletrônicos acoplados ao AL, Fig.2(B). O predomínio do efeito Compton (feixes de energias mais altas) gera o contraste baixo nos tecidos, apropriado para músculo, tecidos moles e ar [4].

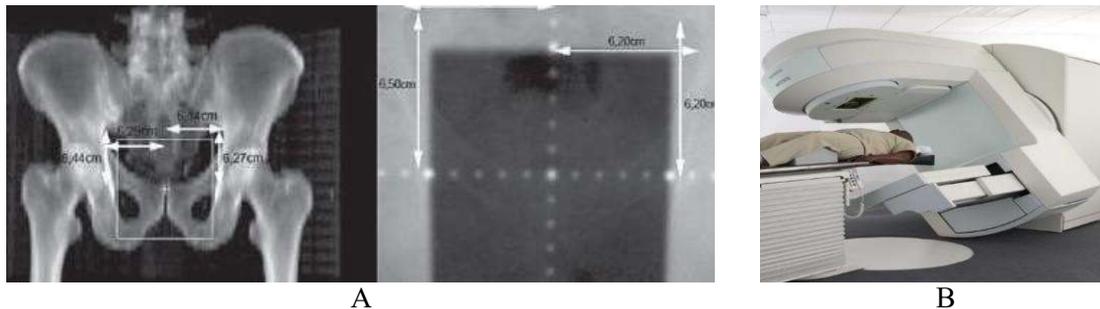


Fig. 2. (A) DRR a esquerda e Imagem portal direita Mv/Mv, (B) Acelerador Linear Mv/Mv.
Fonte: [7,8]

3.1.3 Sistema Exac Trac planares 2D

Esse sistema posiciona pacientes em Radiocirurgia Estereotáxica e em radioterapia, independentemente do AL realiza monitoramento constante do paciente. O sistema é a integração de dois subsistemas, um com posicionamento óptico por meio de infravermelho para monitorar a movimentação da mesa e marcadores corporais reflexivos colocados sobre a pele do paciente Fig. 3. E o outro consiste na imagem radiográfica kV, para verificação da posição e reajuste da imagem [9, 4].



Fig.3. Sala com sistema Exac Trac. Fonte: [6]



3.1.4 Tomografia Computadorizada com Megavoltagem (TCMV)

A TCMV é uma forma de imagem tomográfica na qual o feixe de tratamento com MeV é utilizado como fonte de raios X. Assim, a tomoterapia é resultante da radioterapia helicoidal (com movimento da mesa), guiada por imagem a partir de múltiplas rotações de 360° ao redor do paciente, com a TC administrando a radiação de forma contínua, conforme Fig.4(A). As vantagens da TCMV: reconstrução com feixes em leque, não possui muitos artefatos, devido à geometria padrão e a construção do detector de TC. Devido a energia de MeV e predominância de interações Compton, artefatos de endurecimento do feixe são eliminados. E quando o feixe é utilizado para geração das imagens, o tratamento e o isocentro são os mesmos em oposição. A Fig.4 (B) mostra uma TCMV de mama [4].



Fig. 4. (A) Aquisição da Tomoterapia para câncer de mama e (B) TCMV da mama a ser tratada.
Fonte: [10]

3.1.5 Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CONE BEAM CT)

O Cone Beam CT é composto por um tubo de raios X em quilovolts (kV) e um detector painel plano montado no AL, Fig. 5 (A). O detector coleta os dados de um “cone” de radiação para reconstrução tomográfica. As técnicas de reconstruções do *Cone Beam CT* resultam em uma melhor qualidade de imagem com entrega de dose reduzida ao paciente [4].

Este sistema possui a função de fusão das imagens, que permite que as informações das diferentes modalidades contribuam para precisão do volume tumoral e preservação dos órgãos de risco. Dessa forma, o uso do *Cone Beam CT* é aplicado na verificação do posicionamento dos órgãos de risco, como o protocolo de tratamento. A Fig. 5 (B) de Cone Beam CT para câncer de próstata, mostra o adequado preenchimento da bexiga, o esvaziamento do reto e intestino, com objetivo de afastar o máximo os órgãos sadios [4].

O *Cone Beam CT* está presente em equipamentos de MeV, e utiliza para aquisição das imagens o próprio feixe de tratamento. As imagens são menos susceptíveis à artefato, oferecendo um contraste inferior quando a comparado as imagens de TC convencionalou Kv-CBCT [4].



Fig. 5. (A) Cone Beam CT kV e (B) Cone Beam CT kV-verificação do preparo do paciente de câncer de próstata. Fonte: [11,12]



3.1.6 Dispositivo de Rastreamento

É uma técnica de imagiologia volumétrica utilizada para localização do alvo tumoral e que possui como vantagem a utilização da radiação não-ionizante. E funciona com a implementação de transponder eletromagnéticos no alvo, por orientação de ultrassom, similar a uma biópsia por agulha, Fig.6 (A). O equipamento é integrado ao AL e monitora em tempo real a radiação durante o tratamento, sinalizando se o feixe está na localização correta, caso esteja fora dos limites de radiação, o sistema emite um alerta, interrompendo o feixe e solicitando as correções. A desvantagem está no alto custo dos transponders [4].

3.1.7 Ultrassonografia (US)

A US utiliza radiação não-ionizante, ainda é muito utilizada, porém vem sendo substituída por métodos de imagem volumétrica e apresenta precariedade do contraste de tecidos moles [7]. Pode ser realizado de duas maneiras, por meio de Ultrassom Transabdominal, o qual por meio de receptores ópticos consegue saber a localização da próstata. Ou por Ultrassom Transperineal, o qual a sonda de ultrassom é introduzida pelo ânus, sendo possível ver a movimentação da próstata, Fig. 6(B) [13].

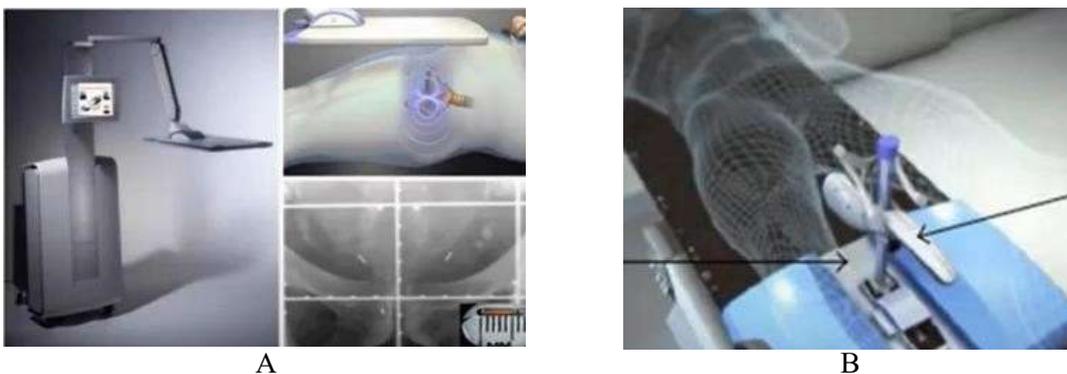


Fig. 6. (A) Dispositivo de Rastreamento e (B) Ultrassom Transperineal. Fonte: [13].

3.1.8 Ressonância Magnética (RM)

Essa modalidade utiliza radiação não-ionizante, gerando imagens de alta qualidade, com alto contraste de tecido mole. A Linac RM gera imagens de RM de forma contínua e específica da anatomia, gerenciando o movimento do paciente, entregando a dose com precisão, possibilitando assim uma boa visualização de alvos e órgãos de risco, Fig.7. Poucos estudos citam essa modalidade de imagem devido a sua baixa consolidação no mercado, uma vez que o custo é ainda alto. Porém, as imagens geradas são de excelente precisão [14].



Fig. 7. Linac RM Elekta. Fonte: [15]



3.2 Protocolo IGRT e Hipofracionamento da dose

O protocolo para IGRT pode ser feito com imagens Interfração, realizadas antes ou depois da aplicação, como *cone beam* CT, radiografia digital. Ou pode ser feito com imagens Intrafração, adquiridas durante uma aplicação, possibilitando correções durante o tratamento. As maneiras de correções podem ser divididas em: *online* e *offline* [16]. O protocolo *online* é realizado imediatamente após adquirir as imagens do paciente e compará-las com a imagem de referência. Logo, se ajusta ao posicionamento com base nos dados adquiridos, antes do acionamento do feixe de tratamento. O protocolo *offline* é realizado com base nas informações acumuladas de frações anteriores que serão analisadas para determinar o posicionamento das frações subsequentes [4].

O hipofracionamento de dose tem como objetivo otimizar o tratamento por meio de doses mais altas por fração com menos aplicações, de forma segura, preservando as margens de tecidos saudáveis. A tecnologia IGRT é fundamental para a prática do hipofracionamento, já que no hipofracionamento há necessidade de verificação de incertezas e de posicionamento. Sendo assim, a junção do IGRT com o hipofracionamento promove a diminuição da toxicidade, aumento da dose total de tratamento e maior possibilidade de controle da doença [17].

3.3 IGRT- toxicidade e promoção da qualidade de vida

Apesar do avanço da tecnologia na radioterapia com tratamentos precisos e acurados, os efeitos da radiação ainda existem e são pautas importantes em estudos [18]. A toxicidade radioinduzida pode ser classificada em aguda ou tardia de acordo com o tempo de aparecimento. Na toxicidade aguda os efeitos adversos manifestam-se durante o tratamento e até 90 dias após iniciara radioterapia. A toxicidade tardia os efeitos surgem entre meses e anos após terminar a radioterapia [16].

A radioterapia pode causar múltiplas complicações dependendo da área irradiada, como a radiodermite, Fig. 8, devido a hipersensibilidade e a frequência da radiação no local.



Fig. 8. Radiodermite paciente que tratam região da fossa supraclavicular e as mamas. Fonte: [16]

Esta afeta a qualidade de vida das pacientes, uma vez que ocorre a manifestação de eritema, a pele fica sensível e seca, sensação de repuxamento havendo dor, irritação, queimação e desconforto. As pacientes que tratam colo de câncer uterino e endométrio, os quais são irradiadas na pelve e surgem reações adversas não somente na pele, mas também nas funções intestinais, mucosa vaginal e aparelho geniturinário. Pacientes que tratam câncer de cabeça possui efeitos colaterais, como a radiodermite, mucosite, disfagia e cárie [16, 18].

Por isso a abordagem multiprofissional do cuidado com paciente oncológico fortalece a qualidade de vida, para que considere os resultados do tratamento radioterápico e a perspectiva geral do cidadão.



A equipe de assistência dos serviços radioterápicos possui papel fundamental na avaliação clínica dos pacientes, monitorando os sinais, sintomas da doença, efeitos colaterais e recursos/métodos para minimizar ou extinguir esses efeitos. Como exemplo, o tecnólogo em radiologia que recebe o paciente todos os dias na sala de tratamento, deve observar e sinalizar toda anormalidade percebida ou relatada pelo mesmo e encaminhá-lo para área clínica [4].

O IGRT está presente na tentativa de redução desses efeitos colaterais, uma vez com uso dos métodos de imagem, busca-se o feixe preciso no alvo tumoral, excluindo a radiação em tecidos saudáveis e consequentemente evitando reações adversas [19].

3.4 Relato de Vivência Profissional

No período em que estive em um serviço radioterápico do Sistema Único de Saúde, pude visualizar e comparar a importância da tecnologia IGRT e o quanto o seu uso agrega.

Nessa instituição, há realização de imagens com uso de receptor de imagem com filme próprio para feixe de MeV e cassete para radiografia digital, logo a imagem é adquirida por meio de feixes de Mv provenientes do AL, processada digitalmente e comparadas com a DRR da TC de planejamento para devidas correções nos sentidos longitudinal, lateral e vertical. A fim de garantir a entrega do feixe de tratamento na região tumoral, poupando os órgãos sadios adjacentes.

Entretanto, após a realização desse trabalho, foi possível visualizar o quanto o uso do IGRT agrega em um serviço radioterápico, uma vez que com seu uso é possível para além de verificar o posicionamento do alvo tumoral, também o preparo do paciente e condições fisiológicas do corpo. Exemplo: pacientes que tratam sítios tumorais como reto, útero, próstata necessitam de um preparo de qualidade com intuito de afastar o máximo os órgãos de riscos. Dessa maneira, pacientes que possuem esse acompanhamento diário ou semanal, com técnicas de imagens 3D, como *Cone Beam CT*, se tornam menos propícios a reações adversas e toxicidades, visto que são acompanhados diariamente, para verificação do estado da bexiga e do reto.

Essa vivência como profissional da saúde, me trouxe a necessidade de crescer, buscando conhecer os avanços tecnológicos para proporcionar um melhor tratamento aos pacientes. Independente da técnica ser menos ou mais avançada, promover a reprodutibilidade todos os dias que o paciente necessita.

4 CONCLUSÃO

A Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) surgiu para que os tratamentos radioterápicos sejam realizados com maior precisão, possibilitando a entrega da dose no alvo tumoral e ao mesmo tempo poupando os tecidos saídos adjacentes. Essa tecnologia refere-se à utilização de métodos de imagens, como ultrassom, tomografia computadorizada, radiografias, ressonância magnética, antes, durante ou após o tratamento. Dessa maneira, pode-se concluir que o IGRT não é uma tecnologia para a entrega de dose, mas sim, uma ferramenta que auxilia todo o processo de aplicação, garantindo acurácia e maior precisão.

O papel do profissional Tecnólogo em Radiologia é de suma importância para que toda essa aplicabilidade seja executada conforme o planejado, de forma a promover a reprodutibilidade diária necessária para tratar e garantir um tratamento eficaz e seguro aos pacientes oncológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, “Estimativa 2023: Incidência do Câncer no Brasil”, Rio de Janeiro (2022).



- [2] American Cancer Society. “How Radiation Therapy is used to treat cancer”, cancer.org/1.800.227.2345, pp.1-9 (2019), www.cancer.org/cancer/managing-cancer/treatment-types/radiation/basics.html acessado em 03/05/2024.
- [3] M. F. Guizzardi e D. S. Guimarães, A História da Radioterapia no INCA, *Revista Brasileira de Cancerologia*, Vol. 46, n. 3, pp. 305-07 (2000).
- [4] J. V. Salvajoli, L. Souhami, S. L. Faria, Radioterapia em Oncologia, 2ª ed., Rio de Janeiro: Ed.Atheneu Ltda (2013).
- [5] Radiology Oncology. Acelerador Linear Varian 2100CD. <https://www.oncologysystems.com/inventory/medical-equipment-for-sale/used-linear-accelerators/varian-2100cd-linear-accelerators> acessado em 03/05/2024.
- [6] A. C. Carvalho, “IGRT Radioterapia Guiada por Imagem”, Especialização em Radioterapia, INCA, Rio de Janeiro, Brasil (2022).
- [7] A. J. Giordani *et al.*, Acurácia na reprodutibilidade do posicionamento diário de pacientes submetidos a radioterapia conformada (RT3D) para câncer de próstata, *Radiologia Brasileira*, Vol. 43, n.4, pp. 236- 240 (2010).
- [8] L. M. Bidaut, Dispositivo de Imagem Eletrônico, in *Leibel and Philips Textbook of Radiation Oncology*, 3º ed., Ed. Elsevier, pp 1601-1641(2010).
- [9] R. K. Sakubara, Desenvolvimento de um Sistema de Verificação Dosimétrica Tridimensional utilizando a Solução Fricke gel na Aplicação para a Verificação da Radioterapia em Arco Modulado Volumétrico (VMAT) nos Tratamentos com Movimento do Alvo pela Respiração, Tese, IPEN, Universidade de São Paulo, Brasil (2015).
- [10] Accuray Incorporated, The Radixact System: Fast Helical Imaging and Treatment delivery for superior patient outcomes, <https://www.youtube.com/watch?v=7U0-peZ0lp0> (2023).
- [11] J. Lehmann, Garantia de Qualidade (QA) para tomografia computadorizada de feixe cônico dequilovoltagem (CBCT), in *Modern Practices in Radiation Therapy*, ResearchGate, pp. 291-308 (2012).
- [12] Hospital Materdei, imagem cedida do setor de radioterapia (2023).
- [13] Câncer em foco, Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT), www.youtube.com/watch?v=fPtes0ti1MM&t=234s acessado 03/05/2024.
- [14] G. M. Freire *et al.*, Ressonância magnética para avaliação dos limites dos campos clássicos de radioterapia em pacientes portadoras de neoplasia maligna de colo uterino, *Radiologia Brasileira*, Vol. 43, pp. 175-178 (2010).
- [15] Elekta, Rm Linac, <https://www.elekta.com/products/radiation-therapy/unity/>, acessado 27/09/2024.
- [16] F. Rodrigues *et al.*, Associação de Enfermagem Oncológica Portuguesa (AEOP), “Radiodermite”, (2015).
- [17] Y. B. Crempe, Sociedade Brasileira de Radioterapia, “Qualidade de vida e toxicidade tardia após Radioterapia de curta duração seguida de quimioterapia ou Quimioradioterapia para neoplasia localmente avançada de reto – estudo Rápido”, <https://sbradioterapia.com.br/noticias/qualidade-de-vida-e-toxicidade-tardia-apos-radioterapia-de-curta-duracao-seguida-de-quimioterapia-ou-quimioradioterapia-para-neoplasia-localmente-avancada-de-reto-estudo-rapido/> acessado 03/05/2024.
- [18] A. F. Vaz, Qualidade de Vida e Toxicidade Aguda da Radioterapia em Mulheres com Câncer Ginecológico: um Estudo de Coorte Prospectivo, Dissertação, Unicamp, São Paulo, Brasil (2006).
- [19] Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, “Atualização para Técnicos em Radioterapia”, Rio de Janeiro, pp. 24-96 (2010).