

CENTRO UNIVERSITÁRIO SÃO CAMILO

Curso de Tecnologia em Radiologia

Bruna Silva do Lago

Rosangela Carvalho Andrade Macedo

**ESTUDO SOBRE ALTERAÇÕES DOSIMÉTRICAS CAUSADAS PELA
MESA DO ACELERADOR LINEAR E PELO USO DE ACESSÓRIOS
DE POSICIONAMENTO E IMOBILIZAÇÃO EM PACIENTES DE
TELETERAPIA**

São Paulo

2016

Bruna Silva do Lago

Rosangela Carvalho Andrade Macedo

**ESTUDO SOBRE ALTERAÇÕES DOSIMÉTRICAS CAUSADAS PELA
MESA DO ACELERADOR LINEAR E PELO USO DE ACESSÓRIOS
DE POSICIONAMENTO E IMOBILIZAÇÃO EM PACIENTES DE
TELETERAPIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Tecnologia em Radiologia do
Centro Universitário São Camilo, orientado
pela Profa.Msc. Eliane Carmo de Oliveira
Peixoto, como requisito parcial para obtenção
do título de Tecnólogo em Radiologia.

São Paulo

2016

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Padre Inocente Radrizzani

Lago, Bruna Silva do

Estudo sobre alterações dosimétricas causadas pela mesa do acelerador linear e pelo uso de acessórios de imobilização em pacientes de teleterapia / Bruna Silva do Lago, Rosangela Carvalho Andrade Macedo -- São Paulo: Centro Universitário São Camilo, 2016.
39 p.

Orientação de Eliane Carmo de Oliveira Peixoto

Trabalho de Conclusão de Curso de Radiologia (Tecnologia), Centro Universitário São Camilo, 2016.

1. Aceleradores de partículas 2. Imobilização - utilização 3. Radiação ionizante 4. Radioterapia 5. Terapêutica I. Macedo, Rosangela Carvalho Andrade II. Carmo, Eliane do III. Centro Universitário São Camilo IV. Título

CDD: 616.0757

Bruna Silva do Lago

Rosangela Carvalho Andrade Macedo

**ESTUDO SOBRE ALTERAÇÕES DOSIMÉTRICAS CAUSADAS PELA
MESA DO ACELERADOR LINEAR E PELO USO DE ACESSÓRIOS
DE POSICIONAMENTO E IMOBILIZAÇÃO EM PACIENTES DE
TELETERAPIA**

São Paulo, 16 de novembro de 2016

Professor Orientador Msc. Eliane Carmo de Oliveira Peixoto

Professor Examinador (nome)

DEDICATÓRIA

À minha mãe Fabiana, que apesar de tudo nunca me abandonou em nenhum momento, sempre acreditou em mim e com o seu jeito militarizado sempre me passou sua força e incentivo para continuar a ir sempre em frente.

Ao meu cachorro Thomaz, que me ensinou o verdadeiro sentido da lealdade, amor sincero e do perdão.

Ao meu avô Ildeu, por cada sonho que sonhamos juntos, aos meus padrinhos Sílvia e Joel, por cada incentivo e conselho que me foi dado.

Bruna Lago

À minha mãe Antônia, por ser a minha maior incentivadora nos estudos, por sempre me compreender, dar atenção e carinho nas horas difíceis, além de ser minha heroína, demonstrando força e coragem em lutar por seus objetivos.

Às minhas irmãs Ruth e Ângela, por estarem presentes em todos os momentos e por me darem a oportunidade de ter um dos maiores prazeres em família, com as suas filhas Katlyn, Maria Clara e Alice.

Ao meu marido Altair, que acompanhou e também se sacrificou para me apoiar em todos os momentos difíceis de cansaço e dedicação.

À grande amiga Ana Rosa, que além de me incentivar e fornecer os materiais para estudos tem demonstrado diariamente seu carinho por mim e por minha família.

À Heloíza e ao Adriano, que demonstram que a relação entre profissionais pode ser muito mais gratificante diariamente.

Rosângela Carvalho A. Macedo

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Plano Espiritual por toda a força e proteção, não só pelo momento que me mantiveram em pé durante o período do curso, mas também por tudo que fizeram por mim antes de chegar nessa vida, por tudo o que já vivi e por tudo que ainda vou viver.

Agradeço a toda a minha família pelo apoio e compreensão pelos meus momentos de ausência, de cansaço e estresse, em especial minha prima irmã Paulina, que sempre demonstrou preocupação e acima de tudo, amor.

Agradeço a minha grande amiga Luana, que sempre caminhou comigo e nunca me deixou fraquejar.

Agradeço a todos os meus amigos, por viver cada momento dessa graduação comigo, mas em especial meus amigos Wagner, Diego, Gabriela e Fran.

Agradeço os professores da graduação e aos colegas de curso, por todo o ensinamento que me foi passado e por tudo o que pudemos aprender uns com os outros, a sermos mais unidos, humanos e principalmente respeitar o próximo, cada um com a sua diversidade.

Bruna Lago

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde e força para superar todas as dificuldades, não somente na jornada universitária, mas em todos os momentos, demonstrando ser o maior dos mestres.

Ao meu marido Altair, pelo apoio em todos os momentos, pelos incentivos e compreensão das horas de ausência.

À professora Eliane, pelas orientações, incentivos e dedicação não apenas para concluir esta etapa, mas em toda jornada acadêmica.

À Ana Rosa Dreher, pelo incentivo e fornecimento de materiais essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Físico Leandro pela sugestão do tema principal e fornecimento dos materiais.

À Dra. Maria José Alves, diretora do Departamento de Radioterapia do Instituto de Assistência Médica ao Servidor Público Estadual, por disponibilizar materiais e espaço para o desenvolvimento do trabalho, além de ser incentivadora na busca de novos conhecimentos.

A todos os professores por proporcionar-me o conhecimento, não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanta dedicação em não somente transmitir o conhecimento, mas por cobrar nosso entendimento. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados, dos quais sem nominar, terão os meus eternos agradecimentos.

Rosangela Carvalho A. Macedo

LAGO, Bruna Silva do; MACEDO, Rosangela Carvalho Andrade. **Estudo sobre alterações dosimétricas causadas pela mesa do acelerador linear e pelo uso de acessórios de posicionamento e imobilização em pacientes de Teleterapia.** 2016. 35 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Tecnologia em Radiologia) – Centro Universitário São Camilo, São Paulo, 2016.

A Radioterapia é uma modalidade terapêutica que consiste em administrar radiação ionizante com o objetivo de destruir células malignas, e pode ser dividida em duas modalidades: Braquiterapia e Teleterapia. Este trabalho foi concentrado na Teleterapia, modalidade na qual o paciente é posicionado sobre uma mesa, parte integrante do Acelerador Linear (AL), equipamento em que o paciente é tratado, além de utilizar acessórios próprios para a imobilização de forma a garantir melhor reprodutibilidade no posicionamento durante todo o tratamento. Estudos tem chamado a atenção sobre a necessidade de se considerar a influência da mesa do AL e dos acessórios de imobilização, que podem causar alteração dosimétrica, levando à diminuição de dose absorvida no volume de tratamento ou tumor, e aumentando a dose na pele, que podem provocar erupções cutâneas (radiodermite). Este trabalho tem como objetivo estudar, através de uma revisão bibliográfica, o quanto a técnica aplicada e os acessórios de imobilização utilizados influenciam em termos da dose absorvida final entregue à região de tratamento. Tal pesquisa foi realizada através do estudo de teses, artigos científicos, livros e sítios eletrônicos, publicadas no período de 1982 a 2014.

Palavras-chave: 1. Aceleradores de partículas 2. Imobilização - utilização 3. Radiação ionizante 4. Radioterapia 5. Terapêutica

LAGO, Bruna Silva do; MACEDO, Rosangela Carvalho Andrade. **Study about dosimetric changes caused by linear accelerator table and through accessories of positioning and immobilization to patients of Theletherapy.** 2016. 35 p. .Final conclusion of work (Graduation in Radiology Technology) - Centro Universitário São Camilo, São Paulo, 2016.

The radiotherapy is a therapeutic modality that consists in administers ionizing radiation with the target to destroy malignant cells, and can be divided in two modalities: Brachytherapy and Teletherapy. This project will be focused at Teletherapy, modality that the patient is positioned on a table, an integral part of Linear Accelerator (LA), equipment in which the patient is treated, beyond to use own accessories for immobilization to guarantee the best reproducibility on positioning during all treatment. Researches on field have called attention about the need to consist an influence of LA's table and immobilization accessories, that may cause dosimetric change, leading to decrease doses absorbed in volume of treatment or tumor, and increasing the dose on the skin, that can cause skin rashes (Radiodermite). This project has an objective to study, through one literature review, as such the applied technique as the immobilization accessories used inflatable in terms of final dose absorbed delivered to the region treatment. This Research was made by thesis studies, articles scientific articles, books and electronic sites, published in the period from 1982 to 2014.

Keywords: 1. Particle Accelerators 2. Immobilization - utilization 3. Ionizing Radiation 4. Radiotherapy 5. Therapy

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SSD Source Skin Distance (Distância Fonte-Pele)

KvP Kilovolt Peak (Pico de Quilovoltagem)

MeV Mega Eletron Volt

AL Acelerador Linear

mA Miliampere

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO.....	13
3 METODOLOGIA.....	14
4 DESENVOLVIMENTO	15
4.1 Princípios Físicos: Radiação Ionizante.....	15
4.1.1 Interação da Radiação com a matéria.....	16
4.1.2 Grandezas e Unidades Utilizadas em Teleterapia	19
4.2 Radiobiologia: Efeitos da radiação ionizante.....	21
4.2.1 Morte Celular.....	21
4.2.2 Princípios do fracionamento em Teleterapia	22
4.3 Teleterapia: Princípios Básicos	23
4.4 Modalidades de tratamento	23
4.5 Acelerador Linear: Composição e funcionamento.....	24
4.6 Imobilização dos pacientes e principais acessórios utilizados em Teleterapia....	26
4.6.1 Máscara termoplástica	27
4.6.2 Suporte de cabeça e pescoço	27
4.6.3 Rampa de Mama.....	28
4.6.4 Vac-fix	29
4.7 Influência dos acessórios na dose liberada.....	29
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

A Radioterapia é a arte médica de tratar e prevenir algumas doenças e processos orgânicos. Utiliza radiação ionizante como princípio ativo e é reconhecida pelo Conselho Federal de Medicina (CFM), (FERRIGNO; 2013).

Os estudos sobre a física da Radioterapia iniciaram em 1895, ano que foram descobertos os raios X, permitindo o desenvolvimento da Radioterapia, que teve o primeiro tratamento com radiação ionizante em 1896 e a primeira cura de paciente com câncer relatado em 1899, (SALVAJOLI, 2012).

No Brasil a Radioterapia chegou em 1901, no Rio Grande do Sul, com o médico Dr. Becker Pinto, que pioneiramente tratou um tumor de pele com um feixe de raios X, (SALVAJOLI, 2012)

Atualmente a Radioterapia trata cerca de 60% dos casos de tumores malignos e dentre os mais frequentes temos os tumores de pulmão, de próstata, de colo de útero e de mama, (SALVAJOLI, 2012).

A Radioterapia é subdividida em duas modalidades: a Braquiterapia (do grego “terapia próxima”), que consiste em utilizar radionuclídeos como fontes de radiação posicionadas próximas, em contato com a área de interesse ou em cavidades naturais do corpo humano e a Teleterapia (do grego “terapia à distância”), cujo tratamento consiste em aplicar um feixe de radiação ionizante a alguns centímetros de distância da região de tratamento, (SCAFF, 2010).

Neste trabalho, atenção maior será dada à Teleterapia, uma vez que é nesta modalidade que se utilizam os acessórios de imobilização, foco do nosso trabalho.

As primeiras aplicações em Teleterapia utilizavam Equipamentos de Raios X de Ortovoltagem, que operavam com quilovoltagem ou diferença de potencial (ddp) entre 30 KVp a 300KVp e corrente entre 2 e 20 mA. Este tipo de tratamento era classificado como Terapia de Contato, Terapia Superficial ou Terapia Profunda, de acordo com a energia do feixe produzida pelo equipamento devido à quilovoltagem aplicada, (NÓBREGA, 2007) .

Simultaneamente eram utilizados os equipamentos conhecidos como unidades de Cobalto (Co^{60}) e de Césio (Cs^{137}), criados a partir do advento dos reatores nucleares, que possibilitaram a produção destes radioisótopos de radiação gama, com alta atividade para aplicação nesta prática médica.

As unidades de Césio foram utilizadas durante muitos anos, visto que apresentava a vantagem da meia-vida do Cs^{137} ser alta (30 anos), todavia apresentava algumas desvantagens, tais como baixo rendimento, grande penumbra (incerteza na determinação das bordas do campo de radiação devido ao tamanho da fonte de radiação) e energia relativamente baixa, que a fizeram entrar em desuso, (SCAFF, 2010).

Com relação ao Co^{60} , que possui fonte com meia-vida de aproximadamente 5,3 anos e forma cilíndrica, a mesma precisa ficar encapsulada em invólucro composto normalmente de Chumbo e Urânio, pois emite radiação gama em todas as direções e em cascata de 1,17 MeV e 1,33 MeV. Para realizar o tratamento, existe um mecanismo de exposição que deve ser ativado, expondo a fonte durante o tempo determinado para entregar a dose desejada, conforme o definido no planejamento, (SCAFF, 2010).

Atualmente a Teleterapia é concentrada no uso dos Aceleradores Lineares (AL) que surgiram da necessidade de produzir feixes de radiação eletromagnética com energias maiores para o tratamento de lesões mais profundas. A vantagem dos AL's é que esses equipamentos também possibilitam o tratamento de lesões superficiais com feixes de elétrons de diferentes energias, como veremos mais adiante, (SALVAJOLI, 2013). A Figura 1 apresenta um AL com seus respectivos componentes.

Figura 1: Representação de um Acelerador Linear e seus principais componentes



Fonte: Modificado - <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems.html> acesso em: 13 nov. 2016.

Na Teleterapia, o paciente deve ser posicionado confortavelmente sobre a mesa do AL e manter-se imobilizado durante a aplicação para evitar que regiões sadias sejam irradiadas. A reprodução diária do posicionamento durante a aplicação é de extrema importância e deve ser mantida durante todo o tratamento. Para auxiliar na imobilização do paciente, foram desenvolvidos acessórios de imobilização específicos referentes à proposta e à região de tratamento. Como exemplo, podemos citar rampa de mama, máscara termoplástica e *vac-fix*, que serão devidamente apresentados em item específico mais adiante.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar pesquisas sobre a influência do uso de imobilizadores no posicionamento de pacientes durante o tratamento de Teleterapia, que podem interferir de forma inadequada na dose de radiação entregue durante o tratamento, além da influência da mesa do próprio Acelerador Linear, que pode causar o mesmo efeito, contribuindo negativamente no resultado final do tratamento.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi baseado em uma revisão bibliográfica, através de pesquisas em monografias, teses, dissertações, artigos científicos e periódicos selecionados nas bases de dados da Scielo, Lilacs e Bireme e na biblioteca Padre Inocente Radrizzani do Centro Universitário São Camilo, além de pesquisas em apostilas de órgãos regulamentadores e em sítios eletrônicos pertinentes ao tema em questão.

O período de publicações dos materiais utilizados nessa revisão bibliográfica compreende do ano de 1982 a 2014, nos idiomas português e inglês.

Como critérios de pesquisa, foram realizadas buscas através de palavras chave como Aceleradores de partículas, Imobilização – utilização, Radiação ionizante, Radioterapia e Terapêutica.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Princípios Físicos: Radiação Ionizante

A radiação é a energia que se propaga de um ponto a outro, no espaço ou em um meio qualquer. A sua natureza pode ser corpuscular (particulada) ou eletromagnética (ondulatória), (SCAFF, 2010).

A Radiação Corpuscular é formada por partículas atômicas ou subatômicas quando possuem alta velocidade, tais como elétrons, prótons, nêutrons, dêutrons e alfas. É caracterizada por sua massa (leve ou pesada), sua carga (neutra ou carregada) e sua velocidade (lenta ou rápida), (SCAFF, 2010).

Segundo Bushong (2010), as radiações eletromagnéticas são ondas que se propagam no vácuo ou no ar, são constituídas por campos elétricos e magnéticos oscilantes e se propagam com velocidade constante no vácuo. É definida como uma energia que se move em forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (300.000 m/s).

São designadas como radiações eletromagnéticas, todas as radiações tais como as ondas de luz, ondas de calor, ondas de rádio, micro-ondas, raios ultravioletas, infravermelhos, raios X e raios gama. Estas radiações não precisam de um meio material para se propagar, (OKUNO,1982; CEPSRM, [entre 2000 e 2016]).

As radiações podem ser classificadas como ionizantes e não ionizantes. É definida como radiação ionizante quando a radiação possui energia suficiente para interagir com os átomos, transferindo-a aos elétrons do meio com capacidade de extraí-los de sua camada de valência, convertendo o átomo em íon de carga elétrica positiva, (SALVAJOLI, 2013; SCAFF, 2010).

Já a radiação não ionizante, não possui energia suficiente para ceder energia ao elétron, todavia é capaz de excitá-lo, sendo suficiente para aumentar sua energia. Para que o átomo volte ao seu estado normal, esta energia é liberada através da

emissão de luz de comprimento de onda característico, (NOBREGA, 2007; SALVAJOLI, 2013; SCAFF, 2010).

A energia das radiações eletromagnéticas é diretamente proporcional ao seu comprimento de onda, ou seja, o seu poder de penetração depende da energia da onda, o que garante a interação com a matéria, influenciando na alteração do tecido biológico, (BUSHONG; 2010; NOBREGA, 2007).

4.1.1 Interação da Radiação com a matéria

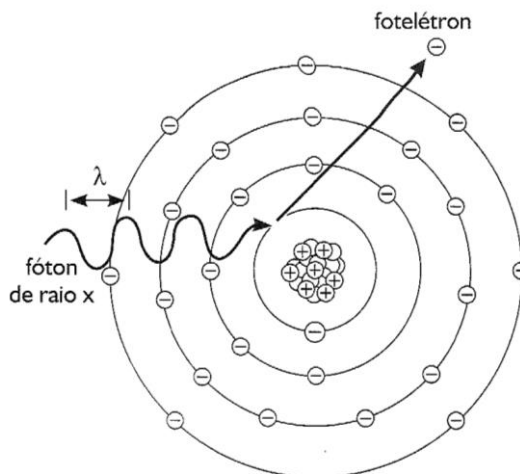
O feixe de fótons quando em contato com a matéria pode ser absorvido através de diversos processos de interação ou não sofrer alteração alguma. O tipo de processo de interação que um fóton pode sofrer basicamente depende de sua energia e do número atômico do meio material com o qual ele interage. Em Teleterapia os principais processos de interação são o Efeito Fotoelétrico, o Efeito *Compton* e a Produção de Pares, (NOBREGA, 2007).

O Efeito Fotoelétrico ocorre através da interação de um fóton com um elétron do átomo do material, em suas camadas mais internas. O elétron absorve totalmente a energia do fóton incidente e utiliza essa energia para se ejetar do átomo e se movimentar com energia cinética (ou de movimento), que a partir desse momento é denominado como fotoelétron, conforme representado na figura 2. Há maior probabilidade deste efeito ocorrer entre fótons de energias mais baixas, com materiais de alto número atômico, além de aumento da densidade do material, (BUSHONG 2010; NOBREGA, 2007).

Esta relação pode ser compreendida através da expressão a seguir, onde E é a energia do fóton incidente, W é a função do trabalho e E_c energia cinética adquirida pelo elétron:

$$E = W + E_c$$

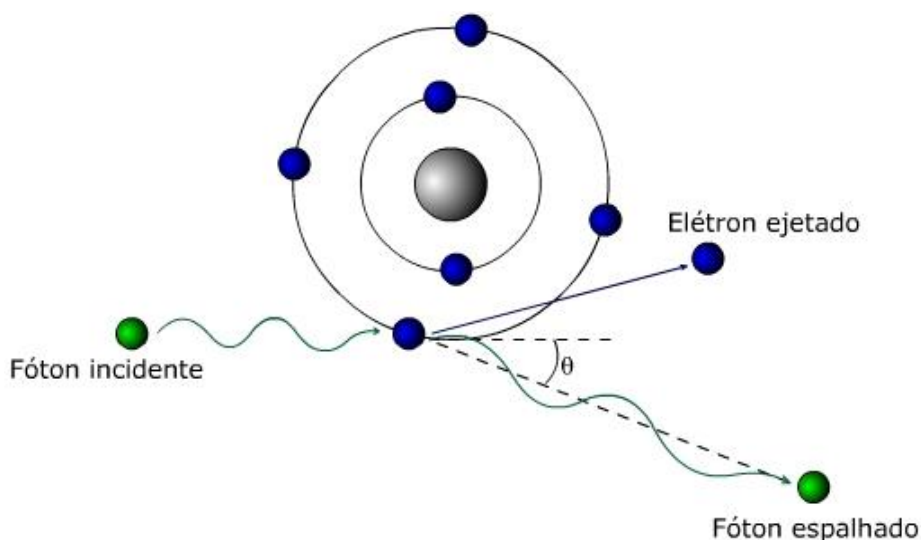
Figura 2: Representação da interação de um fóton de raios X por efeito fotoelétrico.



Fonte: (NÓBREGA, 2007)

O Efeito *Compton* ocorre com fótons de energia moderada, que interagem transferindo sua energia para os elétrons de camadas mais externas e o ejeta utilizando parte de sua energia, tornando-se elétron *Compton*. O restante da energia é convertido em energia cinética e em um novo fóton de raios X, chamado raios X secundários, que possuem menor energia e são emitidos em direção diferente do fóton incidente, conforme demonstrado na figura 3, (BUSHONG 2010; NOBREGA, 2007).

Figura 3: Representação da interação de um fóton de raios X por efeito Compton.



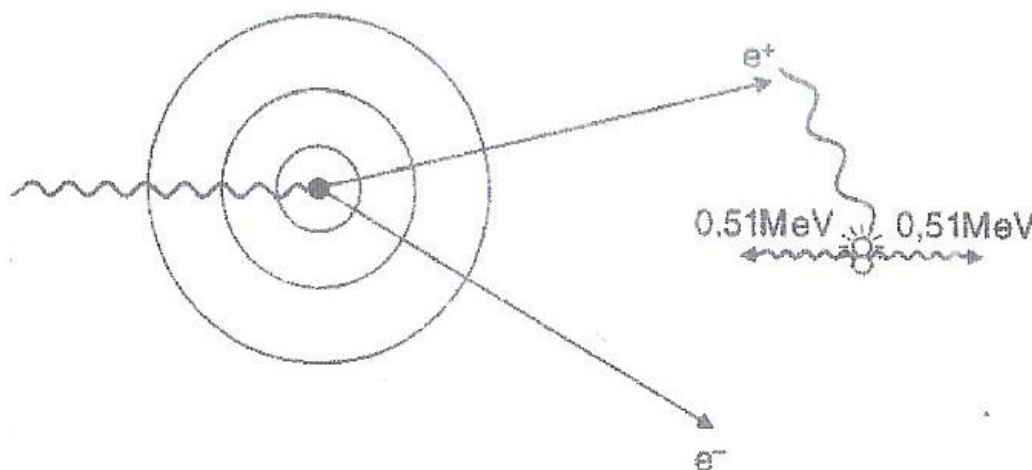
Fonte: (QUOIRIN, 2004)

Neste efeito, a energia do fóton espalhado é igual à diferença de energia entre o fóton incidente e a energia de ligação do elétron ejetado, conforme demonstrado abaixo, onde E_S é a energia do fóton espalhado, E_I é a energia do fóton incidente e E_L é a energia de ligação do elétron ao núcleo.

$$E_S = E_I - E_L$$

Tratando-se de absorção da radiação eletromagnética pela matéria, o Efeito de Produção de Pares torna-se o efeito mais importante em Teleterapia, pois ocorre com radiação de alta energia, que, possui energia superior a 1,022 MeV pode chegar próxima ao núcleo do átomo sem sofrer interação com os elétrons. O fóton sofre influência pela força do campo nuclear causando seu desaparecimento e dando lugar a dois elétrons, um com carga negativa e o outro com carga positiva chamado pósitron. O elétron interage com átomos vizinhos já o pósitron encontrará outro elétron que juntos, se aniquilarão, dando origem a dois fótons com energia de 0,51 MeV cada, em direções opostas, (NOBREGA, 2007)..

Figura 4: Representação do efeito de Produção de Pares



Fonte: (SCAFF, 2010)

4.1.2 Grandezas e Unidades Utilizadas em Teleterapia

Para medir os efeitos produzidos pela interação da radiação com a matéria foram criadas grandezas e unidades de medidas por órgãos regulamentadores, com o intuito de unificar a linguagem técnica específica, (BUSHONG, 2010).

Em Radioterapia é preciso conhecer as grandezas físicas e suas unidades de medidas, para que seja possível relacionar os valores de doses de radiação com os efeitos nocivos à saúde dos trabalhadores e pacientes, decorrentes das radiações ionizantes. As grandezas mais utilizadas são: Dose Absorvida (D), Exposição (X), Dose Equivalente (H) e Kerma (K), (DIMENSTEIN, 2001).

Em 1928 foi adotado formalmente o Roentgen (R) como a unidade de radiação, todavia por não ser compatível com todas as grandezas, foi substituído pelo “rad” (radiation absorbed dose). Em 1975 foram adotadas novas terminologias após uma revisão, com o intuito de adequar as unidades de medida com suas grandezas, (SALVAJOLI, 2013).

A *Dose Absorvida* (D) é a relação entre a energia cedida pelos elétrons ao meio, num elemento de volume de massa, ou seja, é definido pelo acúmulo de energia da radiação na matéria. A unidade de medida atual é o *Gray* – Gy (Substituindo o antigo rad, onde temos $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$) que no Sistema internacional de medidas (S.I) é definida como a dose de radiação ionizante absorvida uniformemente por uma porção da matéria, à razão de 1 *joule* por quilograma de massa e pode ser demonstrada a partir da expressão abaixo: (DIMENSTEIN, 2001; ROZENBERG, 2006; SALVAJOLI, 2013).

$$D = E/m$$

Na expressão, E representa a energia média depositada pela radiação ionizante na matéria m, num ponto determinado. Essa grandeza equivale para qualquer meio, qualquer tipo de radiação e qualquer geometria de irradiação (OLIVEIRA, 2014).

A grandeza *Exposição* (X) é o conceito definido pela soma de todas as cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal, produzidos no ar, quando todos os

elétrons liberados pelos fótons num elemento de volume de ar de massa são completamente absorvidos, logo, Exposição é a habilidade da radiação ionizar o ar e sua unidade de medida é Coulombs por quilograma de ar (C/kg), onde 1R equivale a 0,000258C/kg. Em Teleterapia é utilizada basicamente em dosimetria pode ser calculada através da fórmula a seguir: (DIMENSTEIN, 2001; SALVAJOLI, 2013).

$$X = dQ/dm$$

A Exposição é dada pelo quociente entre dQ e dm, onde dQ é o valor absoluto da carga total de íons de um dado sinal, produzidos no ar, quando todos os elétrons liberados pelos fótons de ar, em uma massa dm, são completamente freados no ar, (OLIVEIRA, 2014).

A *Dose Equivalente* (H) é a medida que quantifica a dose a que o indivíduo foi exposto, utilizada para monitorar trabalhadores. É expressa em *Sievert* (Sv), que é equivalente a dose de uma radiação igual a 1 *joule* por quilograma e calculada realizando a somatória da dose, levando em consideração o tipo de tecido irradiado, tipo de radiação e a energia da radiação incidente, conforme demonstrado abaixo: (DIMENSTEIN, 2001; ROZENBERG, 2006).

$$H = D \cdot Q$$

A grandeza *Kerma* ($K = \text{Kinetic Energy Released in the Medium}$) é a transferência de energia dos fótons aos elétrons do meio; descreve o primeiro passo da absorção da radiação pela matéria. A unidade de medida é o Gray (Gy) e aplicada na prática em dosimetria, sendo calculada a partir da expressão a seguir: (SALVAJOLI, 2013).

$$K = dE/dM$$

Onde dE é a soma de todas as energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas por partículas neutras ou fótons, incidentes em um material de massa dm.

4.2 Radiobiologia: Efeitos da radiação ionizante

Na Radioterapia a ação da radiação ionizante ocorre no material genético das células, destruindo-as ou inibindo o seu crescimento e ocorre basicamente de duas formas: efeito direto e indireto, (MARTA, 2014).

O efeito direto corresponde a cerca de 30% do efeito biológico total e ocorre após a absorção da energia da radiação pelo material biológico, pois há ejeção de elétrons e interação direta destes com os componentes celulares, como DNA e proteínas, que causam alterações funcionais e estruturais, (MARTA, 2014).

O efeito indireto é o predominante e ocorre através da interação da radiação e ejeção dos elétrons da água, que é um dos principais componentes das células, induzindo a produção de radicais livres, que pode danificar a dupla hélice do DNA, pois quebram as ligações químicas em busca de um elétron que lhes confira equilíbrio eletrônico, (SALVAJOLI, 2013).

Dependendo da dose de radiação e volume irradiado, o dano à célula pode ser denominado como letal, quando o dano é irreversível, pois atinge diretamente o DNA quebrando as fitas de dupla hélice causando a morte celular. Já o dano subletal ocorre quando houver a probabilidade de reparo da célula, (MARTA, 2014).

4.2.1 Morte Celular

A radiação pode induzir à morte clonogênica ou a morte programada (apoptose), sendo este o principal mecanismo. Baixas doses de radiação induzem a morte por apoptose e altas doses induzem à morte não apoptótica e a resposta dos tecidos que foram expostos podem ser precoces (aguda) ou tardias e o que define a resposta será o tipo de tecido que é exposto, (SALVAJOLI, 2013).

Tecidos de resposta rápida como pele, mucosas, aparelho digestivo e tumores malignos, apresentam alterações nas primeiras semanas após a exposição,

pois possuem alto índice de proliferação celular, alta suscetibilidade à morte clonogênica e/ou a apoptose, (MARTA, 2014).

Os tecidos de resposta lenta como tecidos nervosos, muscular e ósseo apresentam alterações em meses ou anos após a exposição, pois apresentam baixa atividade mitótica, menor suscetibilidade a apoptose e capacidade de reparo, desde que respeitada a tolerância de exposição, (MARTA, 2014).

4.2.2 Princípios do fracionamento em Teleterapia

Na Radioterapia, geralmente os alvos de tratamento são localizados, porém é inevitável que porções de tecidos sadios sejam irradiadas. É fundamental que seja respeitada a tolerância de exposição de cada tecido a fim de minimizar a probabilidade de danos irreversíveis. A dose de tolerância depende do tecido envolvido, do volume irradiado, do tipo de radiação e do fracionamento da dose empregados, (MARTA, 2014).

A fim de diminuir a toxicidade e garantir maior efetividade ao tratamento, a Radioterapia é realizada com pequenas porções diárias e resultando em alta dose final necessária, (MARTA, 2014).

Os “5 Rs” da radiobiologia tentam explicar por que o fracionamento funciona, e são eles: redistribuição, reparo da lesão subletal (RLSL), repopulação, reoxigenação e radiosensibilidade, (SALVAJOLI, 2014).

Fracionando-se a dose, permite-se o reparo da lesão subletal (RLSL) do tecido normal de resposta lenta e a repopulação do tecido normal de resposta rápida, entre as frações. Ao mesmo tempo, dividindo-se a dose em frações, aumenta-se a lesão nas células tumorais em consequência da reoxigenação e redistribuição das células nas fases mais sensíveis do ciclo celular. O 5º R refere-se à radiosensibilidade do tecido irradiado e depende das características moleculares desse tecido, (SALVAJOLI, 2013).

4.3 Teleterapia: Princípios Básicos

A Radioterapia consiste no uso da radiação ionizante, produzida por aparelhos ou por radioisótopos naturais ou artificiais com finalidade terapêutica e pode ser associada a outras modalidades de tratamento, como quimioterapia ou cirurgia, (NÓBREGA, 2007; SALVAJOLI, 2013).

A Radioterapia pode ser utilizada tanto para tratamento de doenças benignas quanto malignas. As doenças benignas que podem ser tratadas são ginecomastia, pterígio e profilaxia de queloides com doses baixas de radiação; já os meningeomas, adenomas hipofisários e malformações arteriovenosas são tratados com doses mais elevadas, (SALVAJOLI, 2013).

O tratamento de neoplasias malignas é a principal indicação para tratamento com Radioterapia e a melhor abordagem terapêutica dependerá da localização anatômica, estadiamento da doença e a sua classificação, (SALVAJOLI, 2013).

4.4 Modalidades de tratamento

Como dito anteriormente, a Radioterapia é dividida em duas modalidades terapêuticas, a Braquiterapia e a Teleterapia, sendo que esta última é o foco do trabalho.

Teleterapia provém do grego Tele (à distância) e terapia (tratamento) e é definido como tratamento em que a fonte de radiação está a certa distância do paciente, (SALVAJOLI, 2013).

A Teleterapia pode ser utilizada de forma isolada ou associada a outras modalidades e a finalidade pode ser curativa, quando existe a possibilidade de obter sobrevida em longo prazo após o devido tratamento ou paliativa, quando utilizada

para alívio de algum sintoma específico, como dor, obstrução ou sangramento em paciente com prognóstico desfavorável, (SALVAJOLI, 2013).

Os Aceleradores Lineares (AL) são os equipamentos utilizados em Teleterapia, desde a década de 60. Eles produzem feixes de raios X de alta energia (megavoltagem), com alto poder de penetração, que produzem maior homogeneidade da dose e menor irradiação dos tecidos sadios, além de apresentar uma característica do ponto de vista físico que poupa a pele, pois em AL's, quanto maior a energia do feixe, mais penetrante torna-se, possibilitando a irradiação de tumores mais profundos com elevadas doses e minimizando os efeitos na pele, (BRASIL, 2010).

O quadro a seguir demonstra onde se localiza o ponto de dose máxima na profundidade no meio material para equipamento de Cobalto⁶⁰ e AL, comparando a diferença de penetração entre as energias mais utilizadas e suas respectivas distâncias utilizadas para tratamento, (BRASIL, 2010).

Quadro 1 – Capacidade de penetração dos feixes de diferentes energias.

Parâmetros Físicos	Cobalto ⁶⁰	Acelerador Linear	
		6MV	10MV
Energia	1,25 MeV	6MV	10MV
Distância entre a fonte e a pele (cm)	80	100	100
Profundidade que atinge 100% da dose (cm)	0,5	1,5	2,5
% dose a 10 cm de profundidade	56,4	66,8	74,8

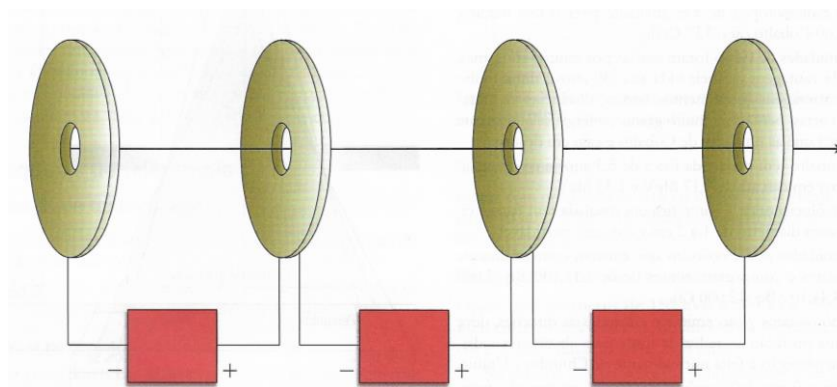
Fonte: Modificado de (BRASIL, 2010).

4.5 Acelerador Linear: Composição e funcionamento

O AL constitui-se de um tubo acelerador composto em seu interior por duas placas metálicas paralelas entre si, em forma de disco com orifício no centro, ligadas por uma tensão constante. Quando o elétron é liberado ao centro da placa negativa, devido ao campo elétrico criado, ele é atraído para a placa positiva, ganhando energia para passar pela placa positiva sem dificuldades, (NÓBREGA, 2007).

Ao substituir a tensão constante por tensão variável, criando um campo elétrico variável e colocando uma série de discos ligados aos pares de geradores, o elétron sofre aceleração que aumenta à medida que ultrapassa os pares de placas, conforme figura 5: (SCAFF, 2010).

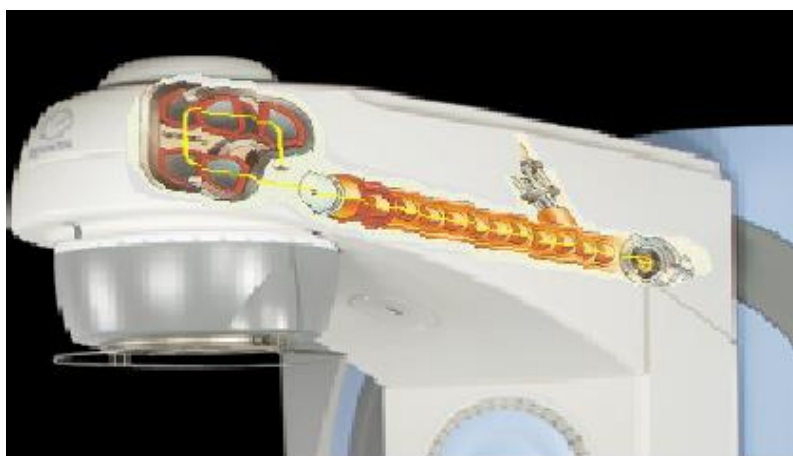
Figura 5: Esquema da série de discos paralelos.



Fonte: (SALVAJOLI, 2013)

A extensão deste todo acelerador varia de acordo com a energia, por exemplo, para energias de 4 MeV o comprimento do tubo é na ordem de 30 cm e para 20 MeV é da ordem de 230 cm, sendo na maioria das vezes tão grande que não pode ser utilizado verticalmente, sendo colocados horizontalmente. Nestes casos, quando o feixe de elétrons deixa o tubo, antes de colidir com o alvo, sofrem deflexão magnética com um *looping* de 270°, (SCAFF, 2010).

Figura 6: Demonstração de um *looping* com o feixe de fótons (em amarelo) no AL

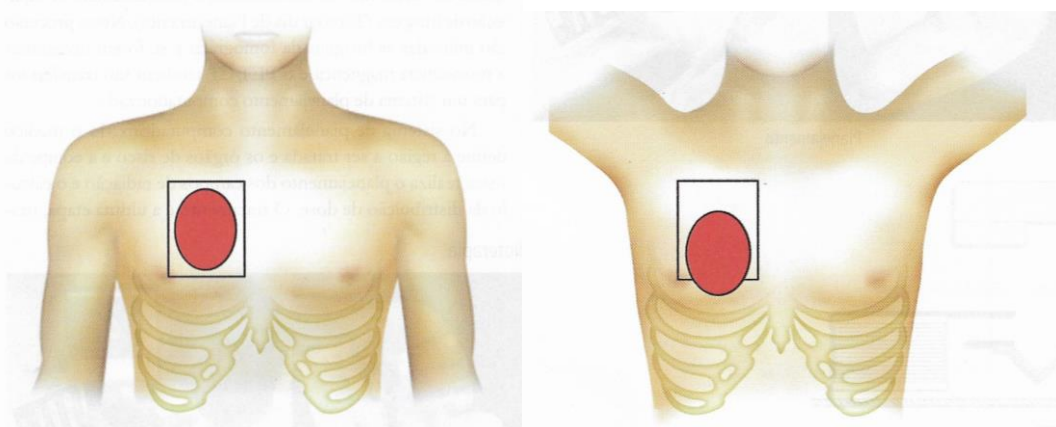


Fonte: Modificado - <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems.html> acesso em: 13 nov. 2016.

4.6 Imobilização dos pacientes e principais acessórios utilizados em Teleterapia

Para que o tratamento em Teleterapia seja eficiente, o posicionamento adequado do paciente é de suma importância, visto que deve ser pensado na forma que será realizado diariamente, portanto, sua reprodutibilidade deve ser precisa já que se realizado de forma incorreta, podem resultar na localização incorreta dos campos e, conseqüentemente, em tratamento inadequado. Como está demonstrado na figura 7, a posição dos braços podem interferir nas marcações realizadas na pele (quadrado), fazendo com que o tumor (em vermelho) não fique dentro da região de irradiação, (NOBREGA, 2007).

Figura 7: Variação da localização do tumor em relação à diferença de posição dos braços.



Fonte: (SALVAJOLI, 2013)

Nos AL's o paciente é posicionado sobre uma mesa com o auxílio de acessórios imobilizadores; estes que devem ser rígidos a fim de não apresentar deformações ao longo do tratamento, além de ser de fácil manipulação, assegurar eficientemente a imobilização e moldar de forma adequada o contorno do paciente, (NOBREGA, 2007).

Existem no mercado diversos tipos de acessórios, imobilizadores e equipamentos, desde os simples, chamados de “*home-made*” que podem ser confeccionados no próprio departamento, como alguns mais complexos. Os custos são variados, contudo é necessário que se pondere a real necessidade de sua aquisição, (BRASIL, 2010; NOBREGA, 2007).

A seguir serão apresentados alguns dos acessórios mais utilizados cotidianamente.

4.6.1 Máscara termoplástica

A máscara termoplástica consiste de um material plástico que, quando imersa em água com temperatura da ordem de 70°C, torna-se translúcida e maleável. Pode ser facilmente ajustável à cabeça do paciente e fixada em alguns tipos de base. Quando essa tela esfria, fica rígida, (SCAFF, 2010).

Figura 8: Sequência de confecção da máscara termoplástica.



Fonte: (BRASIL, 2010)

4.6.2 Suporte de cabeça e pescoço

Junto com a máscara termoplástica, o paciente é posicionado com bases que possuem formato bem anatômico para apoio e conforto do crânio do paciente durante a aplicação. São amplamente utilizados por serem de várias formas e dimensões, sendo adaptáveis à maioria dos pacientes. Existem apoios compostos de isopor, plástico, espuma e/ou poliuretano e são identificados por letras ou números a fim de facilitar a identificação pelo técnico/tecnólogo no momento da aplicação, (BRASIL, 2010; NÓBREGA, 2007; SCAFF, 2010).

Figura 9: Conjunto padronizado de suporte de cabeça e pescoço.



Fonte: (SALVAJOLI, 2013)

4.6.3 Rampa de mama

A rampa de mama é uma mesa-rampa de suporte para pacientes que fazem tratamento radioterápico de mama. Possibilita o posicionamento do tórax em variadas angulações, além de apoios para braços e mãos em posições numeradas e apoio para cabeça, a fim de facilitar sua reprodução diariamente. Normalmente é fabricada de material leve e radiolúcido, que são pouco densas e permitem a passagem do feixe com pouca ou nenhuma resistência, (NOBREGA, 2007; SÃO LUÍS - MA, 2014; SCAFF, 2010).

Figura 10: Rampa de mama com suas referências alfanuméricas para posicionamento.

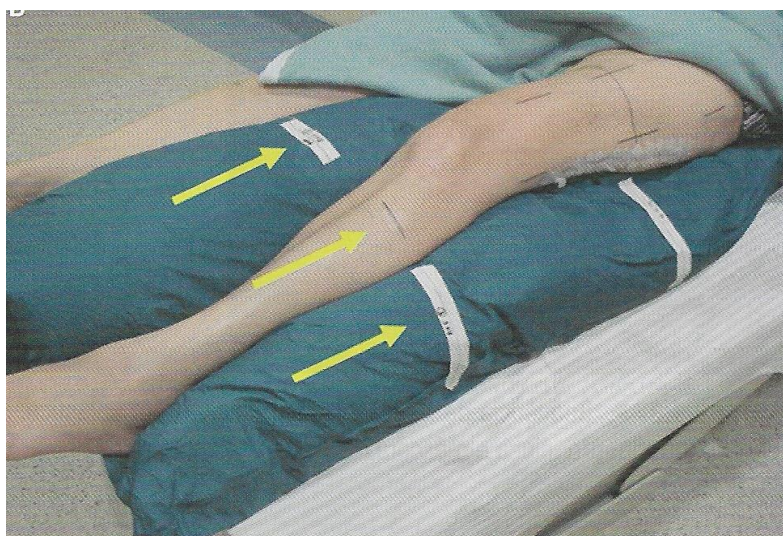


Fonte: (OXIGEN, 2016)

4.6.4 Vac-fix

Vac-fix é um colchão de vácuo, composto por um saco plástico de alta resistência e preenchido por minúsculas esferas de poliuretano (isopor rígido). O paciente deve ser posicionado sobre o *Vac-fix* para ser moldado na posição desejada para o tratamento, para então retirar o ar através de uma válvula que é parte integrante deste acessório, assumindo os contornos do paciente. Pode ser moldado praticamente em qualquer região do corpo; é considerado um acessório de imobilização personalizado, além de ser reaproveitável para vários pacientes após o término do tratamento, (SALVAJOLI, 2013; SCAFF, 2010).

Figura 11: *Vac-fix* moldado em membro inferior, com destaque para as marcas específicas, utilizadas como referências para o posicionamento.



Fonte: (SALVJOLI 2013)

4.7 Influência dos acessórios na dose liberada

Os efeitos de dosimetria causados pelos dispositivos externos como o aumento da dose na pele e dose reduzida do tumor têm sido relatados na literatura pelo menos desde 1982 e os estudos vêm crescendo devido ao rápido aumento e

prevalência das mesas de fibra de carbono e dispositivos clínicos de imobilização, (OLCH et al.,2014).

Para realizar o tratamento na Teleterapia, o paciente é posicionado sobre uma mesa, componente do AL, conforme figura 12 e dependendo da sua composição e forma, podem alterar a distribuição de dose, visto que causa interação com o feixe de fótons, que dependendo do arranjo de campos, necessariamente atravessa a mesa para chegar ao volume de tratamento ou tumor, (OLCH et al.,2014).

Cada tecido em contato com a radiação responde de uma maneira, como forma de representação da interação do feixe com a matéria é delineada as Curvas de Isodose que são linhas representativas, como mapas da distribuição de dose dentro do paciente, para auxiliar no planejamento do tratamento e proteção dos tecidos adjacentes. As curvas de isodose são organizadas de acordo com os parâmetros geométricos e radiométricos dos feixes e do arranjo de campos do tratamento como a distância da fonte à superfície de tratamento, a energia do feixe, o uso de filtros aplanadores, as medidas do campo e profundidade da lesão. Para o planejamento da dose é imprescindível o uso da mesma. Com isso é possível estudar, com melhor exatidão, a quantidade de radiação absorvida pela região irradiada. (RODRIGUES, 2012)

Figura 12: Paciente posicionado sobre a mesa do AL



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=9ySsYiXpDYg> acesso em: 26 nov. 2016.

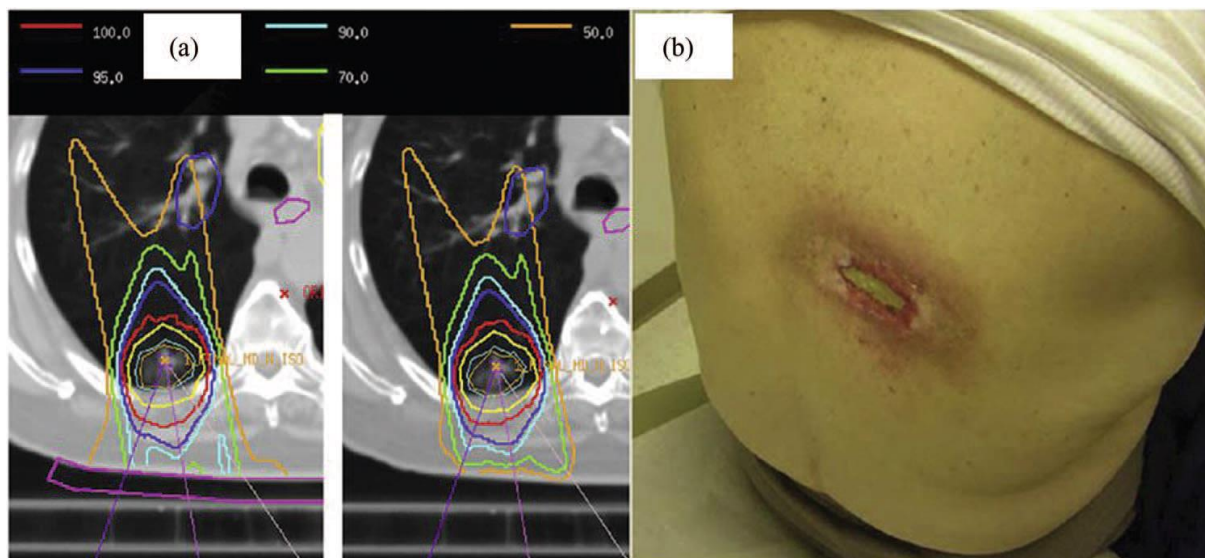
Normalmente a mesa do AL é composta de fibra de carbono, pois é um material radiolúcido, possui elevada resistência mecânica e baixa densidade específica, todavia possui também grade sólida de metal tornando-a um fator atenuante. As mesas de AL's mais modernos possuem *design* e forma de sanduíche de fibra de carbono (raquete de tênis), contendo duas placas finas de fibra de carbono (cerca de 2 a 4 milímetros de espessura cada) prensando uma espuma polimérica equivalente ao ar ou papel impregnado de resina, como favo de mel. Outro tipo de mesa utilizada é a monolítica, que é totalmente composta pelo mesmo material (fibra de carbono), (OLCH et al.,2014).

Apesar dos efeitos decorrentes pela interação precoce com a mesa do AL e com os acessórios de imobilização ser muitas vezes ignorados ou subestimados, hoje vêm aumentando cada vez mais a preocupação com tais efeitos, pois com a necessidade de aquisição de imagens para checar posicionamento, as mesas mais utilizadas são as monolíticas, estas que atenuam mais o feixe de radiação se comparada com a mesa estilo "raquete de tênis", (OLCH et al.,2014).

Como visto anteriormente, para garantir a reprodutibilidade do posicionamento do paciente existem diversos acessórios de imobilização disponíveis comercialmente, todavia os materiais de que são compostos também causam atenuação da radiação e podem gerar o mesmo tipo de impacto na entrega de dose, (DIAS et al.,2010; OLCH et al.,2014).

A mesa e os dispositivos de imobilização quando próximos ao paciente também podem alterar a distribuição de dose, pois causam interação precoce da radiação com a matéria, movendo a curva de dose da profundidade em direção à superfície (pele) do paciente. Este efeito pode ser muito significativo, pois pode causar diminuição da dose na região de tratamento ou tumor e aumentar a dose na pele, causando reações cutâneas (radiodermite). A figura 12 em (a) representa dois planejamentos, um considerando a atenuação causada pela mesa (à direita) e outro sem considerar (à esquerda) e percebe-se que a distribuição de dose fica alterada, resultando em maior dose na pele. A imagem em (b) demonstra uma reação cutânea causada por um tratamento de pulmão, onde houve aumento de dose na pele, (OLCH et al.,2014).

Figura 12 – (a) (Foto à direita) Simulação no sistema de planejamento considerando a atenuação do feixe causada pela mesa. (Foto à esquerda) Distribuição de dose original utilizada para tratar o paciente sem considerar a atenuação do feixe causada pela mesa. (b) Radiodermite após o tratamento de Teleterapia em Pulmão.

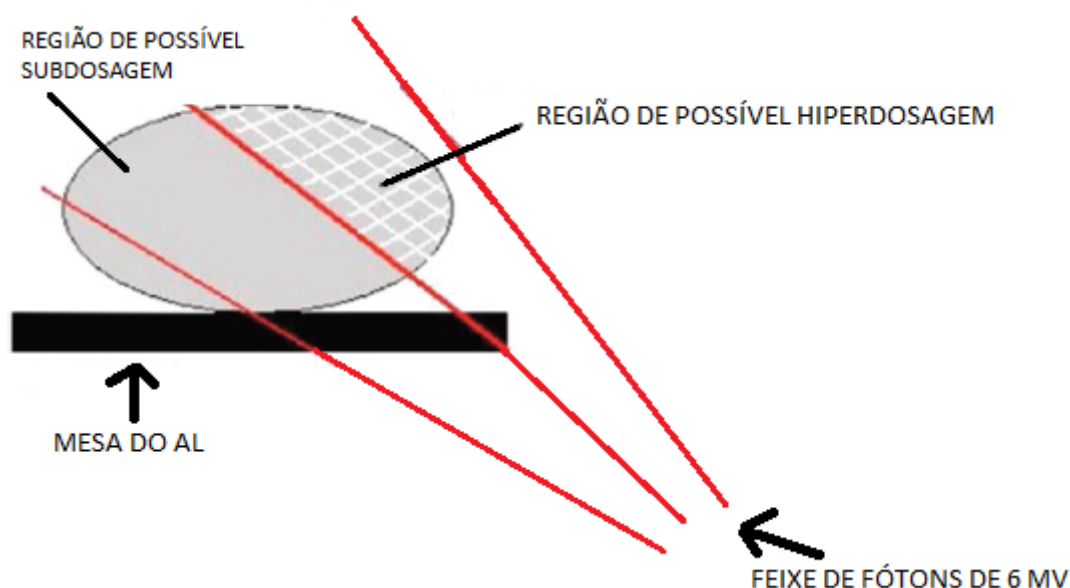


Fonte: (OLCH et al.,2014)

São descritos por alguns autores a atenuação do feixe de radiação de 13 a 15% da dose total absorvida, causada por dispositivos de imobilização quando utilizados feixes de 6MV, para tratamentos de pacientes com câncer da região de cabeça e pescoço. Já a mesa do AL, também é citada por alguns autores, descrevendo atenuação do feixe de radiação de até 19,3%, sugerindo que também seja incluída nos cálculos do planejamento, (DIAS et al.,2010; OLCH et al.,2014).

Para feixes que são perpendiculares a uma placa uniforme, pode-se medir e aplicar manualmente esta correção ao cálculo da dose, todavia para feixes que passam obliquamente através de partes dos dispositivos não uniformes, é difícil ter precisão do valor atenuado, pois depende da situação do paciente indexado que pode variar no dia-a-dia, além dos feixes que podem partir de direções diferentes, atravessando a mesa e/ou acessórios de imobilização, conforme figura 13, (OLCH et al.,2014).

Figura 13: Diferença dos efeitos causados pela atenuação de um feixe de fótons oblíquo de 6MV, atravessando a mesa de tratamento.



Fonte: Modificado OLCH et al.,2014

Uma forma de considerar a alteração que a mesa e os acessórios podem causar na distribuição de dose, é considerar sua densidade no planejamento, como parte atenuante do feixe de radiação, a fim de aproximar-se o máximo possível da realidade, como em planejamentos 3D realizados com tomografia computadorizada, (OLCH et al.,2014).

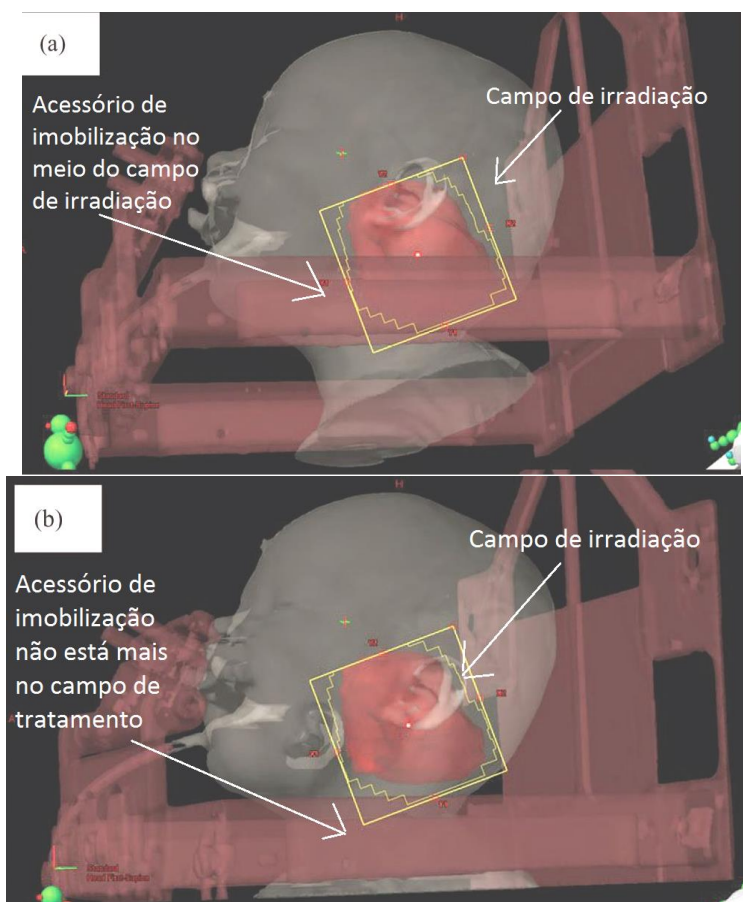
Incluir a mesa de tratamento e alguns dispositivos de imobilização no sistema de planejamento foi possível a partir de 2008, quando uma empresa que desenvolve *softwares* para planejamentos em Radioterapia foi a pioneira em complementar o sistema com uma forma de inserir automaticamente determinados dados ao planejamento, com o intuito de aumentar a precisão do cálculo de dose, (OLCH et al.,2014).

É preciso cautela ao interpretar os relatos sobre a alteração da distribuição da dose, pois para determinar o efeito clínico é importante considerar a anatomia da pele, sendo que muitas vezes é esquecida, principalmente quando utilizados feixes de fótons de megavoltagem, onde o objetivo clínico é irradiar tumores mais profundos, (OLCH et al.,2014).

Quando o departamento não dispõe de técnicas para considerar ou calcular a atenuação causada pelos imobilizadores e mesa, uma forma é avaliar o arranjo de

campos a fim de evitar que os feixes passem através dos dispositivos, diminuindo os efeitos indesejáveis, conforme demonstrado na figura 14: (OLCH et al.,2014).

Figura 14: (a) Visão da entrada de campo intersectando o dispositivo de imobilização. (b) ângulo do gantry alterado para evitar a intersecção do feixe com o dispositivo de imobilização.



Fonte: Modificado OLCH et al.,2014

Ao atentar-se para esses efeitos que podem ser causados quando não considerados no planejamento, pode-se evitar que o volume a ser irradiado receba menor dose que o planejado aumentando a probabilidade de controle tumoral e diminuindo os riscos de recidiva da doença quando incluídos no planejamento de calculo da dose, (FORTES; MONTALDI; PERES, 2010).

5 CONCLUSÃO

Através do estudo realizado percebe-se a importância de se considerar os efeitos produzidos na dose final entregue à região de tratamento devido à utilização de acessórios de imobilização e mesa do AL, onde o paciente é posicionado.

O uso de tais acessórios causa uma subdosagem na região de tratamento, o que pode ser inaceitável, pois pode comprometer o resultado esperado sobre o volume tumoral e aumentar a probabilidade de reincidência da doença.

É importante considerar que tais influências podem ser corrigidas nos *softwares* do sistema de planejamento aplicado no cálculo da dose final. Quando esse procedimento não for possível devido à falta do software no departamento, existe também a possibilidade de avaliar o arranjo de campos, a fim de diminuir ao máximo a passagem dos feixes por tais dispositivos, para não causar atenuação dos mesmos.

A atenção do tecnólogo no momento da entrega da dose é de suma importância, pois deve checar se o que foi planejado realmente condiz com o que será executado, já que muitas vezes o planejamento através de *softwares* pode apresentar falhas, como qualquer sistema informatizado.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde. **Atualização para técnicos em radioterapia**. Rio de Janeiro: Coordenação de Educação (CEDC), 2010. 100 p.

BUSHONG, Stewart Carlyle. **Ciência Radiológica para Tecnólogos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 709 p.

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM). **Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/rem.html>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

COMO funciona um Acelerador Linear Elekta?. S.i: Radioterapia Mater Dei, 2011. 1 vídeo (8 min.), P&B. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9ySsYiXpDYg>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

DIAS, Talita S. et al. **Absorção do feixe de fótons de 6 MV através de acessórios de imobilização para radioterapia**. 2010. Disponível em: <http://www.siscone.v.com.br/Uploads/CBFM/Trab01390000161920140616_000000.PDF>. Acesso em: 08 nov. 2016.

DIMENSTEIN, Renato; HORNOS, Yvone M. Mascarenhas. **Manual de proteção radiológica aplicada ao radiodiagnóstico**. 3. ed. São Paulo: Senac, 2001. 80 p. (Apontamentos).

ELEKTA INC. **Treatment delivery systems**: Precise Treatment System. Disponível em: <<https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems.html>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

FERRIGNO, Robson. **Panorama da Radioterapia no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://www.sbradioterapia.com.br/pdfs/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

FORTES, Saulo Santos; MONTALDI, Larissa R. PERES, Leonardo. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA MESA NO PLANEJAMENTO DE RADIOTERAPIA DE PRÓSTATA COM ARCO VOLUMÉTRICO MODULADO**. 2009. Disponível em: <http://www.siscone.v.com.br/Uploads/CBFM/Trab01390000167120140708_000000.PDF>. Acesso em: 08 nov. 2016.

MARTA, Gustavo Nader. **Radiobiologia: princípios básicos aplicados à prática clínica**. 2014. Disponível em: <<http://canal.unigranrio.com.br/enade2016/radiologia/biblioteca/radiobiologia.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2016.

NOBREGA, Almir Inácio da (Org.). **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem**. 1. ed. São Caetano do Sul: Difusão, 2006. 407 p. 1 v.

NOBREGA, Almir Inacio da (Org.). **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem: Ciências radiológicas**. 2. ed. São Caetano do Sul: Difusão, 2007. 319 p. 2 v.

NOBREGA, Almir Inácio da (Org.). **Tecnologia radiológica e diagnóstico por imagem: Radiologia - Outras Aplicações**. 2. ed. São Caetano do Sul: Difusão, 2007. 231 p. 4 v.

OKUNO, Emico; CALDAS, Iberê L.; CHOW, Cecil. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra Ltda, 1982. 506 p.

OLCH, Arthur J. et al. **Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: Report of AAPM Task Group 176**. 2014. Disponível em: <<http://scitation.aip.org/content/aapm/journal/medphys/41/6/10.1118/1.4876299>>. Acesso em: 26 ago. 2015.

OLIVEIRA, Luciano Santa Rita. **Proteção e Segurança Radiológica**. 2014. Disponível em: <<http://lucianosantarita.pro.br/GrandRad.html>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

OXIGEN. **Catálogo de Produtos 2016**. [S.l: S.n.], 2016. 29 p.

QUOIRIN, Nilton Sergio Ramos. **Raios X: Interação dos raios X com a matéria.** 2004. Disponível em: <<http://www.oocities.org/tomografiademadeira/interacao.html>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

RODRIGUES, Bruna Teiga. **RADIOTERAPIA EM CÂNCER DE MAMA - IMPORTÂNCIA DA DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ISODOSE.** 2012. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Física Médica, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120813/rodrigues_bt_tcc_botib.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 nov. 2016.

ROZENBERG, Izrael Mordka. **O Sistema Internacional de Unidades - SI.** 3. ed. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2006. 114 p.

SALVAJOLI, João Victor. **O papel da radioterapia no tratamento do câncer - avanços e desafios.** 2012. Disponível em: <<http://revistaonco.com.br/wp-content/uploads/2012/09/Radioterapia.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.

SALVAJOLI, João Victor; SOUHAMI, Luis; FARIA, Sergio Luiz. **RADIOTERAPIA EM ONCOLOGIA.** 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2013. 1276 p.

SÃO LUÍS - MA. Universidade Federal do Maranhão. Ana Emília Figueiredo de Oliveira et al. (Org.). **Princípios de interpretação.** São Luís: Una-sus/ufma, 2014. 30 p.

SCAFF, Luiz. **Física na Radioterapia: A base analógica de uma era digital.** São Paulo: Projeto Saber, 2010. 312 p. 1 v.

SCAFF, Luiz. **Física na Radioterapia: A base analógica de uma era digital.** São Paulo: Projeto Saber, 2010. 654 p. 2 v.