

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA



APLICAÇÕES DA FÍSICA NA MEDICINA

SINVAL DE CARVALHO FILHO

GOIÂNIA-GO
JULHO DE 2022

SINVAL DE CARVALHO FILHO

APLICAÇÕES DA FÍSICA NA MEDICINA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciado em Física. Orientador: Clóves Gonçalves Rodrigues.

GOIÂNIA-GO
JULHO DE 2022

SINVAL DE CARVALHO FILHO

APLICAÇÕES DA FÍSICA NA MEDICINA

Este Trabalho de Conclusão de Curso julgado adequado para a obtenção do título de licenciado em física, e aprovado em sua forma final pela Escola de Formação de Professores e Humanidades, da Pontifícia Universidade Católica, em ___/___/____.

Banca Examinadora:

Orientador: Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues.

Dr. Prof. Anderson Costa da Silva.

Ms. Prof. Edson Vaz de Andrade

GOIÂNIA-GO
JULHO DE 2022

RESUMO

A física aplicada na medicina tem sua importância por fazer parte do cotidiano de todos. Quando tratamos de assuntos que permeiam o ambiente que o estudante está inserido, o próprio se vê participar dos fenômenos, que antes, ele desconhecia. A física médica começou com estudos simples de Leonardo da Vinci e hoje proporciona diagnósticos concretos, tratamento de doenças, aumento na qualidade e expectativa de vida. Este trabalho tem como objetivo esclarecer o funcionamento dos principais meios de diagnósticos, tais como: ultrassonografia, que utiliza o conceito de ondas sonoras trabalhadas no ensino médio; radiografia, que desenvolve equipamentos que emitem radiações ionizantes para que se possam mapear estruturas internas; tomografia, que é o aprimoramento do raio X, fazendo com que a imagem se torne mais precisa devido à quantidade de receptores e emissores de radiação ionizante. Também foi trabalhado o funcionamento da radioterapia, que é uma das principais ferramentas para o tratamento do câncer.

Palavras-chaves: Física Médica, Ultrassonografia, Radiologia, Radioterapia, Tomografia, Raios X.

SUMÁRIO

<u>1 INTRODUÇÃO</u>	7
<u>2 ULTRASSONOGRRAFIA</u>	8
<u>3 RADIAÇÃO EM GERAL</u>	11
<u>3.1 PROCESSO DE DECAIMENTO</u>	12
<u>3.2 PROCESSO DE AJUSTE NUCLEAR</u>	14
<u>3.3 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA</u>	14
<u>4 TOMOGRAFIA</u>	16
<u>5 DOSIMETRIA</u>	18
<u>5.1 UNIDADES DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO</u>	18
<u>6 RADIOTERAPIA</u>	21
<u>7 COMENTÁRIOS FINAIS</u>	25
<u>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	26

1 INTRODUÇÃO

A física tem como objetivo estudar os fenômenos da natureza e compreender através do conhecimento os processos do cotidiano. A vida, como um dos maiores feitos da natureza, não há como ser devolvida depois de uma vez tomada. A física então, procurou aprender as leis que regem a vida e o que fazer para mantê-la por um tempo duradouro. A curiosidade a cerca do funcionamento do corpo, levou alguns experimentadores a autópsias antes mesmo de se ter noção de como realizar o procedimento.¹

A ciência da natureza busca explicar todos os fenômenos que circundam o nosso meio. Pertencente às ciências naturais, a Física se preocupa em elaborar as leis que regem o nosso universo para que possamos produzir processos sólidos sobre determinado assunto.

A física médica começou o seu desenvolvimento por volta do século XVI, com Leonardo Da Vinci, quando ele decidiu estudar a biomecânica, que descrevia o caminhar, as formas geométricas que o corpo humano conseguiria formar, a movimentação dos órgãos internos e o próprio funcionamento do coração.

Em seguida, o desenvolvimento físico na área da óptica, possibilitou a criação de lentes, que em seguida, possibilitou a criação de microscópios, onde seria possível visualizar novas formas de vida e até descobrir a existência de microrganismos no século XVII.

No século XVIII, o cientista e médico Luigi Galvani, teria descoberto a chamada “energia animal”. Deu-se este nome, por conta da observação de corrente elétrica fluindo através das células animais. Com mais estudos neste campo, foi possível constatar que o cérebro e os músculos também funcionam com impulsos elétricos.

Com o passar do tempo, o desenvolvimento dos materiais necessários para obter melhores diagnósticos médicos foram produzidos utilizando noções físicas para que a interação com o corpo humano fosse medida com precisão. Após físicos conseguirem criar ferramentas para medir pequenas variações de corrente e campos magnéticos foram criadas as eletrocardiografias e eletroencefalografia.

Atualmente a Física Médica é desenvolvida principalmente nas áreas de radiologia diagnóstica e intervencionista, medicina nuclear, radioterapia, radiocirurgia, proteção radiológica, metrologia das radiações, biomagnetismo,

radiobiologia, processamento de sinais e imagens biomédicas, clínica e epidemiológica.¹

2 ULTRASSONOGRAFIA

A Ultrassonografia (abrevia-se US) teve seu início quando um pesquisador, Lazzaro Spallanzini, demonstrou que os morcegos possuíam um sistema de orientação diferenciado aos demais conhecidos até a época. Este sistema é baseado pela audição, utilizando o eco gerado por objetos e presas, quando posicionados no mesmo ambiente que o morcego emitia o som. Assim, constatou-se que através do som, era possível mapear e até mesmo detectar objetos sem a necessidade de sua visualização.

As primeiras utilizações de US foram no âmbito militar, pois era necessário uma aparelhagem precisa para mapear áreas ainda não exploradas. Com essa finalidade deu-se início à utilização do sonar marítimo. Com tal equipamento, as tropas na primeira e segunda guerra mundial tiveram um sucesso maior quando entravam em combate com os inimigos. Em 1935, Sergei Y. Sokolov começou a introduzir os equipamentos de US dentro da indústria. Utilizava-se a US para identificar a falhas nas fundições de materiais em estruturas maciças.²

A ultrassonografia utiliza feixes sonoros emitidos em determinadas frequências e quando encontram “barreiras” em seu percurso, uma pequena parte da sua energia é refletida ou espalhada no meio. Através da análise e processamento dos dados é possível a produção de imagens. Quanto maior é a energia refletida pelo obstáculo, mais denso é o material refletor sendo possível a formação de imagem daquela região, e quanto mais permeável é o material, menor será a energia refletida pelo meio material. Podemos dizer que para que haja uma boa formação de imagens é necessário um meio homogêneo, qualquer meio não homogêneo causará deturpações na produção das imagens.

A ultrassonografia utiliza um feixe sonoro pulsado de alta frequência (de 1 a 15 MHz), que é enviado para um tradutor móvel que faz a leitura. Os tecidos do corpo humano podem interagir, afetando o feixe sonoro, podendo perder parte de sua energia.

Pelo fato da forma de propagação da onda normalmente ser em linha reta, podemos dizer que a ultrassonografia é uma leitura 2D de um meio que está no plano ortogonal ao eixo de propagação da onda sonora emitida pelo aparelho de US.

Tomando como base a Figura 1, Z é a distância entre o aparelho de medição e o objeto a ser detectado, sendo t o tempo de voo do pulso sonoro, no início do sinal até a chegada do mesmo no próprio aparelho de detecção. Existem relações funcionais para tais fins, pois a velocidade de propagação da onda ultrassônica no meio dos tecidos corporais pode ser considerada constante.

Figura 1 – Visão geral sobre o funcionamento e utilização da ultrassonografia.

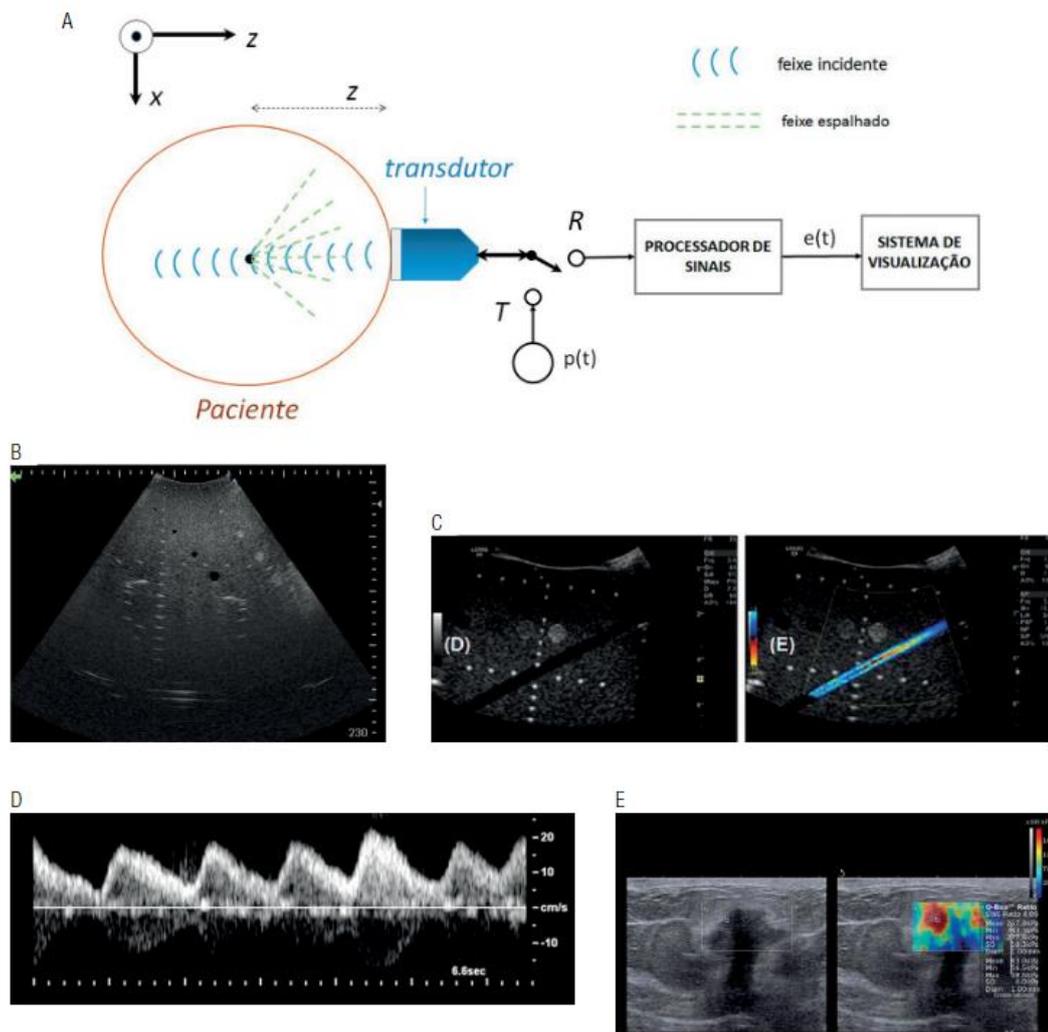


Figura 1 - Visão geral da ultrassonografia e principais modos de imagem. (A) Esquema de um aparelho de imagem por ultrassom. No diagnóstico por ultrassom, uma onda sonora pulsada é enviada ao corpo e “ecos” retornam dos diferentes tecidos encontrados no seu caminho, obtendo-se daí a informação necessária para a formação das imagens e medidas de fluxo ou elasticidade. Um pulso de tensão alternada $p(t)$ excita o transdutor, resultando na transmissão de um pulso de

ultrassom com extensão lateral $s(x, y)$, direcionado ao paciente. Imediatamente após a transmissão do pulso, o transdutor entra em modo de recepção. Quando a frente de onda encontra uma descontinuidade acústica (variação nos valores de elasticidade ou densidade), uma onda espalhada é produzida (linhas tracejadas na figura) e é recebida pelo transdutor. Em alguns casos podemos ter reflexão especular ou difusa. O sinal é processado (filtrado, amplificado, modulado e comprimido) e mostrado num sistema de visualização. (B) Exemplo de imagem no Modo-B, aplicado na visualização de um phantom multipropósito tecido-equivalente. Diferentes estruturas usadas para os testes podem ser vistas: filamentos para medidas de exatidão de distâncias e resolução espacial e massas com diferentes ecogenicidades. (C) Imagens de um phantom multipropósito com inserção de fluxo, mostrando aquisição no modo B e aquisição com sobreposição do sinal Doppler, transformado em escala de cor, a qual indica o sentido do fluxo. Na imagem, o simulador de vaso é uma estrutura oblíqua, percorrida por líquido equivalente ao sangue. Note a característica anecoica do líquido no modo B. (D) Sonograma Doppler: um espectro de velocidades em função do tempo de uma região de interesse do fluido pode ser obtido (em tempo real), permitindo avaliação qualitativa e quantitativa do fluxo. (E) Imagens elastográficas. Nos equipamentos mais modernos, mapas da elasticidade também podem ser obtidos na região de interesse e superpostos nas imagens do modo B. A sondagem das propriedades mecânicas dos tecidos pode fornecer informações de valor diagnóstico em diferentes doenças. A imagem mostra lesão na mama de etiologia maligna, indicada pelo aumento da rigidez mecânica (cor vermelha)³.

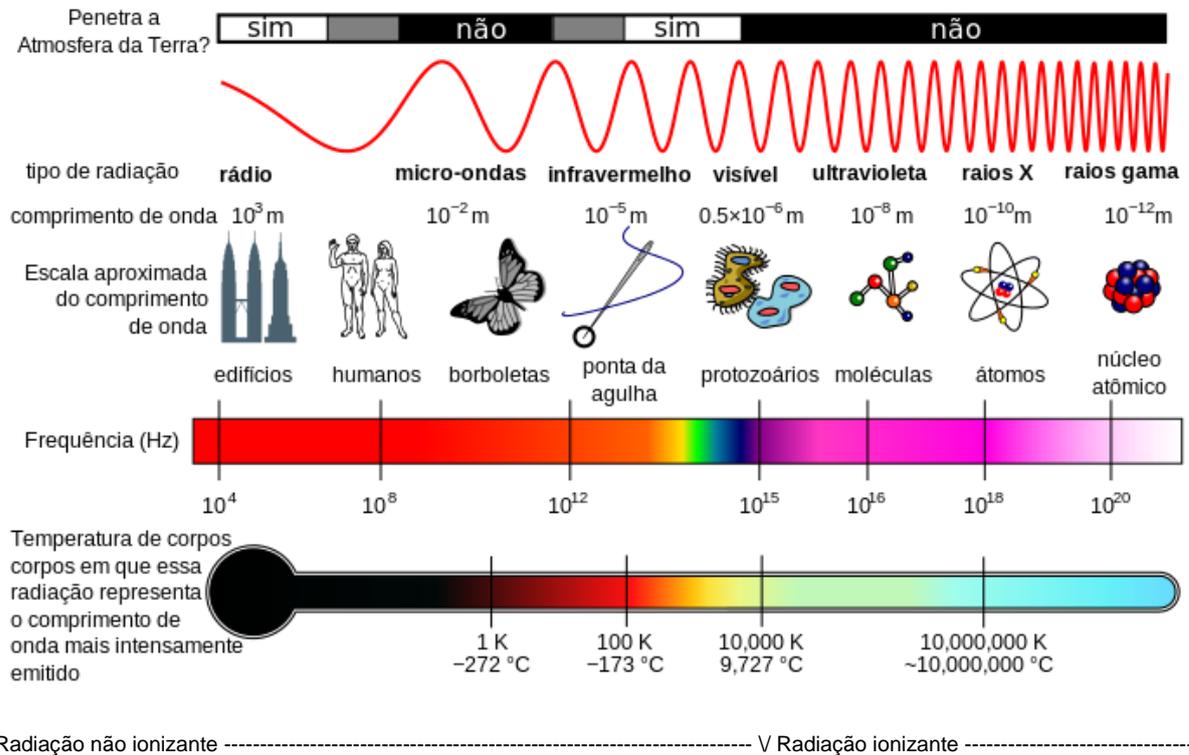
3 RADIAÇÃO EM GERAL

A radiação é uma forma de propagação de energia através de ondas ou partículas.

A radiação eletromagnética é uma forma de energia que se propaga combinando campos elétricos e magnéticos. Estes campos elétricos e magnéticos são variáveis no tempo e no espaço. As ondas eletromagnéticas podem se propagar em meios materiais e também no vácuo. A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética no vácuo é igual à velocidade da luz (já que esta é uma onda eletromagnética) e é igual a $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

O estudo sobre os espectros eletromagnéticos distribui as variações que ocorrem com as várias radiações eletromagnéticas e as classifica entre radiações ionizantes ou não ionizantes. Vale lembrar que ionizar, é formar íons, ou seja, retirar elétrons do átomo. A Figura 2 mostra a distribuição do espectro eletromagnético em suas devidas faixas de frequência de oscilação. Observa-se que as radiações também são divididas em radiações ionizantes e não ionizantes.

Figura 2 – O espectro eletromagnético e suas classificações.



A radiação não ionizante é a radiação produzida por equipamentos do nosso cotidiano como: televisores, rádios, celulares, micro-ondas, roteadores, etc. Todos esses equipamentos utilizam a faixa de frequência das radiações eletromagnéticas considerada não ionizante. Isso significa que essas radiações, mesmo que transportem energia, não possuem a energia necessária para retirar elétrons de átomos ou moléculas durante a sua interação com a matéria.

Não existe nenhuma comprovação de que a radiação não ionizante seja nociva a saúde. O principal efeito biológico que ele possui é de característica térmica, onde ocorre o aquecimento devido à energia eletromagnética que passa pelo material. Um exemplo clássico que podemos utilizar é o efeito dos raios solares, que aquecem a nossa pele, porém, devido ao excesso de exposição, pode gerar queimaduras na pele.

A radiação ionizante é aquela que tem a capacidade de arrancar elétrons dos átomos. Este tipo de radiação possui um maior poder de penetração na matéria do que as demais radiações eletromagnéticas.

Os principais tipos de radiação ionizantes são: gama (γ) (radiação eletromagnética), X (radiação eletromagnética), alfa (α) (núcleos de Hélio), beta mais (β^+) (pósitrons), beta menos (β^-) (elétrons) e nêutrons. Se forem classificadas de

acordo com a capacidade de penetração em meios materiais, a radiação alfa é a que possui o menor poder de penetração, podendo ser blindada simplesmente com uma folha de papel. Já a beta atravessa uma folha de papel, mas uma lâmina metálica de poucos milímetros é suficiente para pará-la. A radiação gama atravessaria até mesmo placa de chumbo dependendo da sua energia e da espessura da placa.

As diferenças físicas entre as radiações gama e X está somente em relação à sua origem. Os raios gama são originados em transições nucleares e os raios X quando há transições eletrônicas no átomo. Essas radiações normalmente são geradas por processos de decaimentos do núcleo atômico, processos de ajuste no núcleo atômico e pela própria interação da radiação com a matéria.

3.1 Processo de decaimento

Para poder compreender de forma clara as radiações eletromagnéticas de altas energias, precisamos compreender que elas são formadas em transições eletrônicas que ocorrem na eletrosfera atômica. Quando um átomo que sofreu excitação ou ionização após interações com outros átomos ou radiações, os elétrons das camadas mais externas fazem uma reorganização para ocupar as camadas mais internas da eletrosfera, e quando ocupam o lugar mais próximo ao núcleo, o excesso de energia é liberado na forma de Raios X. Cada átomo possui uma estrutura nuclear única. Assim, os Raios X emitidos pelos átomos podem ser utilizados para identificação deles. Esta técnica de análise é chamada de Fluorescência de Raio X (Fluorescência de RX). A Tabela 1 mostra a energia necessária, em elétron-volts, para conseguir os Raios X característicos a partir do elemento 3 ao 21.

Um outro processo de produção de Raios X é quando um núcleo excitado transfere diretamente a energia excedente para um elétron orbital que é expulso do átomo com a energia dada pela diferença entre a energia de excitação e a energia de ligação do elétron na eletrosfera E_B , ou seja:

$$E_e = E_{Ex} - E_B$$

Tabela 1 – Energia necessária (em elétron volts) para emitir um fóton.

X-Ray Data Booklet Table 1-2. Photon energies, in electron volts, of principal K-, L-, and M-shell emission lines.

Element	$K\alpha_1$	$K\alpha_2$	$K\beta_1$	$L\alpha_1$	$L\alpha_2$	$L\beta_1$	$L\beta_2$	$L\gamma$	$M\alpha_1$
3 Li	54.3								
4 Be	108.5								
5 B	183.3								
6 C	277								
7 N	392.4								
8 O	524.9								
9 F	676.8								
10 Ne	848.6	848.6							
11 Na	1,040.98	1,040.98	1,071.1						
12 Mg	1,253.60	1,253.60	1,302.2						
13 Al	1,486.70	1,486.27	1,557.45						
14 Si	1,739.98	1,739.38	1,835.94						
15 P	2,013.7	2,012.7	2,139.1						
16 S	2,307.84	2,306.64	2,464.04						
17 Cl	2,622.39	2,620.78	2,815.6						
18 Ar	2,957.70	2,955.63	3,190.5						
19 K	3,313.8	3,311.1	3,589.6						
20 Ca	3,691.68	3,688.09	4,012.7	341.3	341.3	344.9			
21 Sc	4,090.6	4,086.1	4,460.5	395.4	395.4	399.6			

Fonte: https://xdb.lbl.gov/Section1/Table_1-2.pdf⁴.

3.2 Processo de ajuste nuclear

A radiação alfa ocorre normalmente em átomos que possuem um número grande de nêutrons e prótons. A repulsão elétrica no núcleo pode se tornar mais intensa que a atração nuclear. Isso ocorre porque a repulsão sentida por um próton no núcleo é proveniente de todos os outros prótons do núcleo, porém a força nuclear que mantém os prótons juntos são de origem apenas de sua vizinhança. Nesses casos, pode ocorrer a emissão de partículas alfas pelo núcleo atômico.

Já a radiação beta se divide em duas, β^- e β^+ , e ocorrem quando um núcleo atômico possui nêutrons ou prótons em excesso em relação à estrutura estável.

A emissão de β^- , ocorre quando um núcleo tem excesso de nêutrons em seu interior. Com isto, o mecanismo de compensação ocorre e transforma um nêutron em um próton mais um elétron, que é emitido no processo de decaimento.

A emissão de β^+ , ocorre de forma semelhante ao β^- , porém, o mecanismo de compensação transforma um próton em nêutron, e emite um pósitron no processo de decaimento.

Em alguns núcleos, a transformação de próton em nêutron – diferentemente da que ocorre pela emissão de pósitrons – pode ocorrer pela captura de um elétron

orbital das camadas mais próximas do núcleo. Essa captura gera uma vacância no orbital, que faz com os elétrons das camadas mais externas a preencham. O movimento desses elétrons no orbital eletrônico gera então o Raio X característico.

3.3 Interação da Radiação com a matéria

Existem mecanismos para produção de radiação que ocorrem pela interação entre partículas. Bremsstrahlung é o nome alemão dado para a “radiação de frenagem” que ocorre quando uma partícula, seja β ou α , interage com um núcleo atômico mudando sua trajetória, desacelerando a partícula. Quando ocorre tal interação, a energia cinética é transformada em radiação eletromagnética.

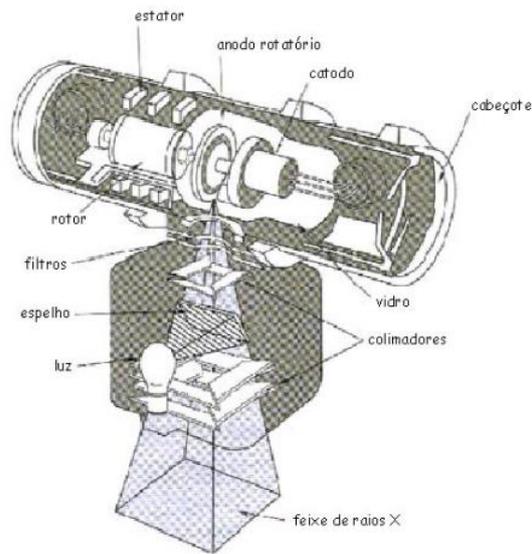
Outra forma de se analisar a interação da radiação com a matéria é quando ocorre a produção de pares. Este efeito acontece quando fótons de energia superior a 1,022 MeV (mega elétron volt) passam perto de um núcleo de número atômico elevado, interagindo com o forte campo elétrico nuclear. Nesse tipo de interação, a radiação desaparece e dá origem a um par de elétron-pósitron ($2mc^2 = 1,022 \text{ MeV}$).

De maneira análoga pode ocorrer a produção de radiação eletromagnética pelo processo de aniquilação de partículas. Quando um pósitron perde toda sua energia interagindo com um elétron, toda a matéria das duas partículas é transformada em energia eletromagnética, sendo emitidos dois fótons em direções diametralmente opostas de 0,511 MeV.⁵

Os aparelhos de raio X utilizam tubos de raio X para gerar radiação ionizante. O tubo de raios X é um conversor de energia: recebe energia elétrica e a converte em Raios-X e calor. É composto por ânodo e cátodo. O cátodo é geralmente um fio de tungstênio, aquecido por um circuito que pode atingir altas temperaturas, resultando em elétrons atingindo o alvo (ânodo) em um ponto exato, chamado foco.

O anodo é um disco de metal, normalmente também de tungstênio, onde os elétrons incidem, produz raios X. A maior parte da energia é transformada em energia térmica, cerca de 95%, e os restante 5% em raios X.

Figura 3 – Tubo de Raio X.



Fonte: Texto de Simone e Marta⁵

4 TOMOGRAFIA

A tomografia é um modelo de exame que chamamos de ápice da utilização do raio X com auxílio das tecnologias de computação. A tomografia utiliza tubos de raios X que emitem radiação ionizante no paciente e captados pelos receptores que se movem em volta do paciente ao longo do exame para capturar imagens mais detalhadas dos tecidos do corpo humano

O tomógrafo, aparelho utilizado para realizar o exame necessário para visualização das imagens da tomografia, é composto por Gantry, Tubos de Raio X e receptores (sensores), mesa de exame, bomba injetora e mesa de comando.

Os gantrys são as plataformas que englobam o corpo principal de controle e funcionamento dos tomógrafos. Neles estão os tubos de raio X, os receptores da radiação ionizante, os controles de tensão e corrente que passam pelos tubos de raios X que controlam a intensidade e operam em uma faixa de frequência entre 3×10^{16} Hz a 3×10^{19} Hz, ou seja, com comprimentos de onda de 0,01 a 10 nanômetros.

Os tubos de raio X emitem radiação ionizante através dos tubos de raio X, que são direcionados para o corpo do paciente. Parte da radiação fica nos tecidos mais densos, como ossos, onde temos estruturas mais claras na imagem do raio X.

Já estruturas menos densas como gorduras, pele e tecidos finos, aparecem mais escuras. Isto acontece, pois os sensores, recebem a radiação que atravessa o corpo do paciente, gerando pixels de imagens dependendo da quantidade de radiação incidida sobre aquele receptor.

Figura 4 – Tomógrafo mostrando as partes que o formam



Fonte: Star Med, Guia para escolher seu tomógrafo ideal.⁶

A mesa de exame é onde o paciente permanece enquanto dura o exame. A mesa deve conter materiais que não interagem com a radiação ionizante, para não gerar ruídos na imagem final.

A bomba injetora não é tão comum, mas nos aparelhos que a possuem, ela é controlada pela mesa de comando do tomógrafo, e é utilizada para controlar o contraste injetado no paciente, dependendo da velocidade e do tempo de cada exame.

A mesa de comando é onde se encontra o monitor que mostra em tempo real o andamento do exame. É interligado com a mesa de exame e o gantry, podendo comunicar com o paciente o tempo necessário durante o exame. A mesa também é responsável pela bomba injetora e faz o processamento das imagens adquiridas através dos raios X incididos nos receptores.

5 DOSIMETRIA

Com o aprimoramento do raio X, e novos métodos de tratamento para doenças, a utilização das radiações ionizantes dentro da medicina se tornaram uma ferramenta indispensável, porém, juntamente com o tratamento das doenças, o risco de absorção de radiação em quantidades prejudiciais aos organismos teve um aumento considerável. Com isto, medidas preventivas mais rígidas da prática hospitalar começaram a ser pensadas. A dosimetria foi criada justamente para conseguir medir e qualificar os tipos de radiações que incidem no ser humano.

As radiações ionizantes, por terem uma faixa e energia bem determinada, possuem diferentes interações com o corpo humano, sendo algumas mais nocivas que outras. Com intuito de mapear essas radiações, criou-se as unidades de medidas de radiação.

5.1 Unidades de medidas de radiação

A principal noção para começar os estudos sobre unidades de medidas de radiação é compreender que estamos falando sobre o núcleo atômico se desfazendo em núcleos menores e emitindo a energia resultante da quebra em forma de radiação. Quando um núcleo atômico tem grande probabilidade de romper de decair, dizemos que este é um radionuclídeo.

Chamamos de Atividade quando temos a soma das taxas de decaimento de todos os radionuclídeos presentes em uma amostra. Esta atividade é a medida da quantidade de desintegrações que ocorrem em um determinado tempo. A unidade de medida de atividade mais antiga é o Curie, cujo símbolo é Ci. Esta unidade expressa a atividade de 1 grama do elemento radio, ou seja

$$1 \text{ Curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

Contudo, a unidade no Sistema Internacional para a atividade é o becquerel, em homenagem a Henri Becquerel, o descobridor da radioatividade:

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimento/segundo} = 1 \text{ s}^{-1} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci.}$$

Com a noção de decaimento, precisa-se compreender sobre a exposição a essa radiação. A exposição a uma fonte radioativa é a capacidade de ionização dessa fonte. Ela é expressa como a carga produzida por massa de ar puro e seco. A

unidade SI para exposição é dada em coulombs por quilograma de ar, isto é: C/kg. A unidade mais comumente usada é o Roentgen:

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

A dose absorvida é expressa como a energia cedida pela radiação para uma certa quantidade de massa do absorvedor. A unidade mais usada é o rad. (do inglês “radiation absorbed dose”, em português “dose de radiação absorvida”):

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ J/kg}$$

A unidade SI para dose absorvida é o Gray (Gy):

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad} = 1 \text{ J/kg}$$

A dose equivalente é a energia absorvida por um tecido biológico. Ela leva em conta o efeito causado no tecido por cada tipo de radiação. Quando dois tipos de radiação (por exemplo, nêutrons e raios gama) fornecem a mesma quantidade de energia a um ser vivo os efeitos biológicos podem ser bem diferentes.⁷

O conceito de dose equivalente permite expressar o efeito biológico multiplicando a dose absorvida (em grays ou rads) por um fator numérico chamado RBE (do inglês “Relative Biological Effectiveness”, em português “efetividade biológica relativa”). Assim, para raios X, raios gama e elétrons temos RBE = 1; para nêutrons lentos temos RBE = 5; para partículas alfa RBE = 10. Dessa forma, temos que a dose equivalente é

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ rad} \times \text{RBE}$$

No sistema internacional de medidas utiliza-se o Sievert (Sv):

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem} = 1 \text{ Gy} \times \text{RBE}$$

Na medicina, utiliza-se um aparelho chamado dosímetro. Este aparelho tem como função medir uma grandeza radiológica ou operacional, mas com resultados relacionados ao corpo inteiro, órgão ou tecido humano.

Os dosímetros podem ser utilizados em medições absolutas, como por exemplo, a câmara de ar livre, câmara cavitária de grafite ou a câmara de extrapolação. Nas medidas relativas, onde é necessário conhecer o fator de calibração (rastreamento metrológico), são muito utilizadas as câmaras tipo dedal para fótons e elétrons, câmaras de placas paralelas para raios X de baixa energia e

elétrons de alta energia, as câmaras esféricas de grande volume para proteção radiológica. Estes modelos descritos podem atuar como padrões de laboratórios, sendo usadas em clínicas de radioterapia ou para dosimetria de feixes ou indivíduos.⁸

Para os profissionais que trabalham com radiações em áreas mais específicas, são produzidos dosímetros que equipam os locais de maior incidência. Por exemplo, existem dosímetros no formato de anéis, pulseiras e até de bolso para jalecos.

Figura 5 – Diferentes tipos de dosímetros.



Fonte: Staff, laboratório de dosimetria⁹.

6 RADIOTERAPIA

A primeira relação entre as radiações ionizantes e os efeitos biológicos induzidos no ser humano foram inicialmente consideradas apenas como danosas, pelas observações a exposições com raio X e em exposições com radionuclídeos sofridas pelos primeiros cientistas que descobriram a radioatividade.

Porém, para melhor desenvolvimento, foi necessário a adoção de modelos que dependiam de hipóteses baseadas em extrapolações, sendo que para o estudo das radiações, dependiam claramente da quantidade, forma e período de exposição, bem como de expectativas de concretização dos efeitos. Tudo dependia muito do

tempo de observação. Isto era por conta de que os dados experimentais disponíveis estavam relacionados a exposições com doses elevadas como acidentes radiológicos, as observações a cerca das vítimas de Hiroshima e Nagasaki ou como experiências em cobaias.

Com o tempo, a pesquisa conseguiu constatar que dependendo da parte ou dos tecidos do homem, a radiação poderia ter grande diferença nos resultados. Teria de se preocupar se a exposição ocorreu de forma fracionada, periodicamente ou de dose únicas.

Células vivas foram utilizadas para comprovar que diferentes radiações, possuem efeitos diferentes nas células de mamíferos como mostra a Tabela 6, onde a frequência de transformações é basicamente a divisão celular ocorrendo.

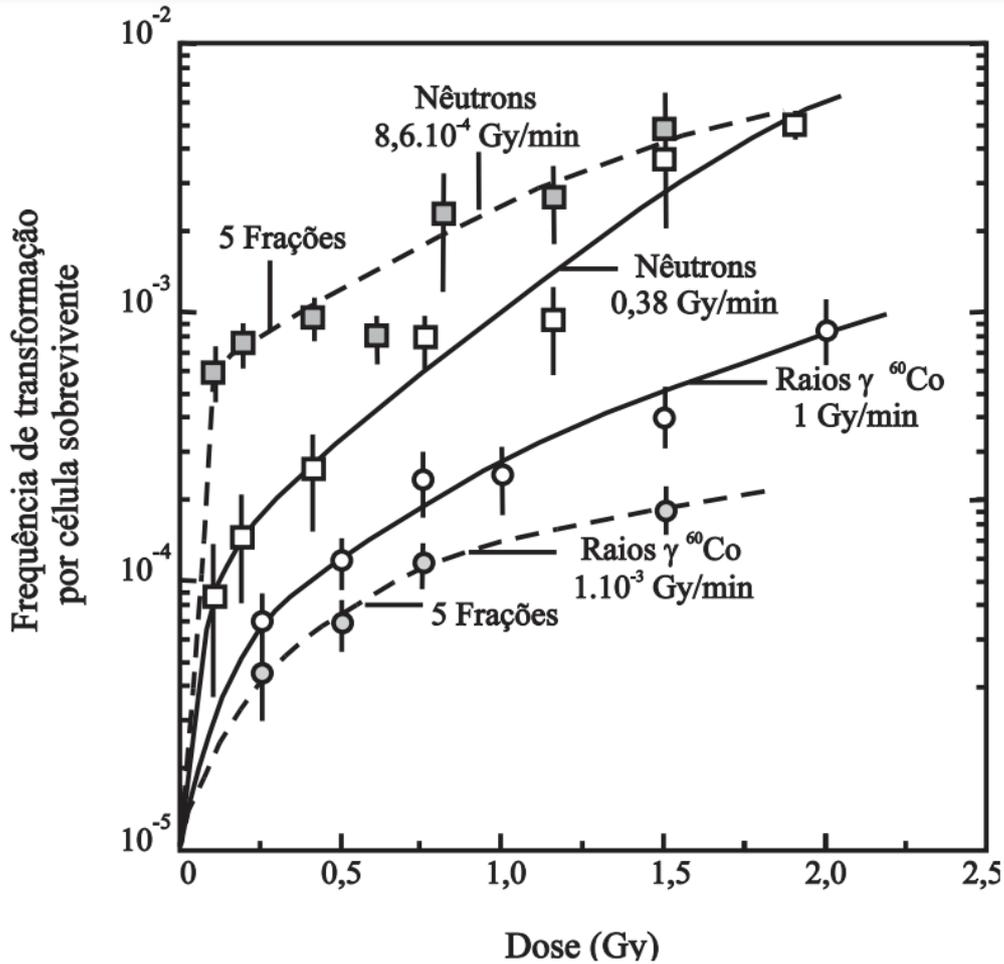
Um profissional que opera com algum material radioativo gerador, pode acabar se expondo a radiação ionizante durante sua rotina de trabalho, ou quando há um equipamento defeituoso, tanto o profissional e o paciente podem acabar sendo expostos a níveis elevados de radiação, que podem ser nocivos à saúde. Em alguns acidentes, como a perda e posterior resgate da fonte de irradiadores, pode expor mais as extremidades que outras partes do corpo. Uma pessoa que manipula radionuclídeos, expõe bastante suas mãos.

No tratamento radioterápico, a exposição do tumor a feixes colimados de radiação é feita com muita precisão e exatidão.

A maior parte das radiações, no tratamento de doenças, ou para realizações de exames, são fótons provenientes de fontes de radiação gama ou de geradores de raios X como radiodiagnósticos e radioterapias.

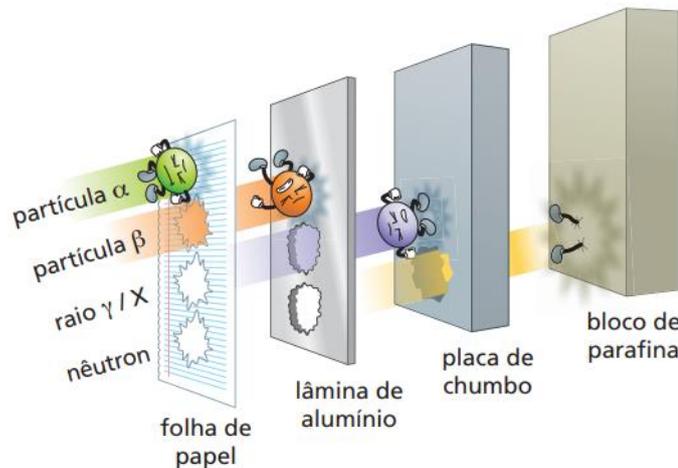
Quando tratamos dos tipos de radiações que utilizamos para os nossos organismos, temos os fótons e nêutrons, que por serem mais penetrantes nos nossos tecidos biológicos, causam diferentes efeitos dentro dos tecidos quando incididos no corpo.

Figura 6 – Gráfico de sobrevivência das células de mamíferos por dose de radiação incidida sobre ela. Desenvolvimento de células expostas à radiação do ^{60}Co e nêutrons do espectro de fissão, com exposições únicas e fracionadas.



Fonte: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/radioprotecao-e-dosimetria-fundamentos.pdf> ⁸.

Figura 7 - Figura ilustrativa da penetrabilidade de cada um dos tipos de radiação.



Fonte: Aplicações da Física nuclear na Saúde⁷.

Quando falamos do tratamento utilizando radiações, temos as seguintes metodologias.

Quando há a necessidade de irradiar um câncer, usam-se fontes de raios gama, que são externas ao corpo do indivíduo com câncer. Esta por sua vez é chamada de teleterapia. Quando há a necessidade de se inserir diretamente no local que se quer irradiar, através de aplicações no tumor, é chamado de Braquiterapia. Outra forma de se interagir com o tumor é através de radiofármacos, que são dados ao paciente por via oral, de tal forma que o radiofármaco se acumule nas regiões tumorais.

Antigamente utiliza-se muito em laboratórios clínicos como fontes de raios gama, equipamentos de Cobalto-60 para a teleterapia. Entretanto, com o aprimoramento das tecnologias para se gerar radiações ionizantes, ao fim do século XX foram substituídos por aceleradores lineares que fizeram com que as fontes de Cobalto-60 ficassem ultrapassadas.

Já quando falamos sobre a braquiterapia, é utilizado o radioisótopo $^{192}_{77}\text{Ir}$ (Iródio) na forma de fios. Estes fios são revestidos com Platina, que possuem 30% de Ir e 70% de Pt. A platina é utilizada para blindagem do fio, para que não haja emissões de radiação β . Isto ocorre porque é utilizada apenas a radiação gama no tratamento. O filamento é inserido dentro do tumor, onde a energia da radiação gama destrói as células tumorais, e as células saudáveis mais distantes não são afetadas de forma nociva. O procedimento dura apenas alguns minutos, pois a densidade do radioisótopo é grande, fazendo com que uma grande carga de radiação seja lançada em pouco tempo. Não há necessidade de internação do paciente para realizar tal procedimento.

O tratamento com radiofármacos, já é um pouco mais demorado, e precisa-se de acompanhamento da evolução do tratamento. Utiliza-se o Iodo-131, que emite radiações do tipo beta e do tipo gama. O medicamento é administrado via oral, como uma solução aquosa do sal iodeto de sódio ($^{131}\text{I-NaI}$). O iodo costuma se acumular na tireoide, onde a radiação beta pode aniquilar nódulos benignos, metástases ou tecidos que ficaram por conta de cirurgias. Já o outro radiofármaco meta-iodobenzilguanidina ($^{131}\text{I-MIBG}$) é utilizado para tratamento de ferrocitomas e neuroblastomas, que são formados a partir da glândula tireoide e se localizam no sistema neuroendócrino. A radiação proveniente do Iodo-131 é utilizada para fazer imagens cintilografias.

7 COMENTÁRIOS FINAIS

A fim de mostrar o funcionamento dos aparelhos que são utilizados na medicina, este trabalho além de ter um caráter formativo, buscou apresentar noções para os professores utilizarem esta monografia como um material didático suplementar para o ensino de física no ensino médio.

Este trabalho foi aplicado no Estágio Supervisionado IV como uma aula expositiva sobre a física no cotidiano dentro da área da saúde, o que ajudou para esclarecimentos de dúvidas em relação tanto a aparelhagem, como o tratamento do câncer. O tema chama bastante atenção por conta de estar ligado ao cotidiano do aluno, pois, dificilmente encontraremos um aluno que nunca precisou fazer uma “chapa” de raio X.

Foi aplicado um questionário sobre noções de como eram feitas as imagens de uma ultrassonografia, como era feito um tratamento de câncer, e pouquíssimos alunos conseguiram expor algo que se aproximasse da realidade. Porém, após a intervenção na escola campo, o mesmo questionário foi aplicado, para que houvesse uma avaliação sobre o tema. Com a aplicação do questionário foi observado que após o tema ser trabalhado em sala de aula a maioria dos alunos souberam de forma positiva diferenciar o raio X de uma ultrassonografia, explicar de maneira simples o funcionamento dos aparelhos e a importância que existe acerca do tratamento de câncer utilizando radiações ionizantes.

A física médica é a parte da ciência que mapeia e orienta os experimentos científicos com a finalidade de promover o melhor desenvolvimento biológico, ajudando a promover exames de alta qualidade, modelos de tratamentos de doenças cada vez menos nocivos ao ser humano, alertando sobre os riscos radiológicos e a importância de mostrar novas saídas para utilizar menos radiações ionizantes.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Estado da Arte Sobre Física Médica. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br>

² História da Ultrassonografia – Ultrassom Médico. Disponível em: <https://www.scribd.com>.

³ Ultrassonografia: Princípios Físicos e Controle da Qualidade. Revista Brasileira de Física Médica, v. 13, n. 01, 14-23 (2019).

⁴ Tabela de Raios X característicos de todos os elementos. Disponível em: <https://www.lbl.gov>.

⁵ Simone Coutinho Cardoso e Marta Feijó Barroso. Uma rápida introdução à física das radiações. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/radiacoes/fr-unidade2.pdf>.

⁶ Tomógrafo: o que é, modelos, como funciona e para que serve. Disponível em: <https://www.star.med.br>.

⁷ Aplicações da energia nuclear na saúde. Disponível em: <https://www.researchgate.net>.

⁸<https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/radioprotecao-e-dosimetria-fundamentos.pdf>

⁹ <https://www.staffsul.com.br/dosimetria/dosimetro-metrobras>