

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PARNAÍBA
CURSO LICENCIATURA EM FÍSICA

LIZIANE DO AMORIM SILVA

FUNDAMENTOS FÍSICOS DA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM
ULTRASSONOGRAFIAS

PARNAÍBA-PI

2018

LIZIANE DO AMORIM SILVA

FUNDAMENTOS FÍSICOS DA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM
ULTRASSONOGRAFIAS

Trabalho de Conclusão de Curso
(monografia) apresentado ao Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, como parte dos
requisitos necessário para a conclusão do
curso de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Me. Bruno Pires Sombra

PARNAÍBA-PI

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Silva, Liziane do Amorim

S586f Fundamentos físicos da formação de imagens em ultrassonografias /
Liziane do Amorim Silva. - 2018.
79 f.: il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Parnaíba Licenciatura em
Física, 2018.

Orientador : Prof. Me. Bruno Pires Sombra .

1. Física. 2. Formação de imagens. 3. Diagnóstico por ultrassom. I. Título.

CDD - 530

Elaborado por Micheline Angélica Aragão Gouveia CRB 3/1244

LIZIANE DO AMORIM SILVA

FUNDAMENTOS FÍSICOS DA FORMAÇÃO DE IMAGENS EM
ULTRASSONOGRAFIAS

Aprovada em: ____/____/____.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física
do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí- *Campus* Parnaíba.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Bruno Pires Sombra - (Orientador) - Presidente
Instituto Federal do Piauí/ *Campus* Parnaíba-PI

Prof. Me. Deymes Silva de Aguiar - Examinador
Instituto Federal do Piauí/ *Campus* Parnaíba - PI

Prof. Me. Lucas Izidio de Sousa Sampaio - Examinador
Instituto Federal do Piauí/ *Campus* Parnaíba- PI

Parnaíba-PI

2018

*Dedico esta monografia aos meus pais, Rosene e
Francisco Ademar.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, por me conceder os melhores caminhos, pela oportunidade de mostrar que cada dia posso ser melhor no que faço. Me dotar de saúde, sabedoria e disposição para alcançar o melhor para minha vida. Agradeço aos meus pais, Francisco Ademar e Rosene Amorim, que com a simplicidade e humildade ensinou-me ser uma pessoa de caráter. Grata ao incentivo de buscar os meus sonhos com honestidade e com a própria força de vontade, agradeço imensamente pelo amor, apoio e confiança. Ao meu irmão Rones Amorim, que estava à disposição para tudo o que precisava. Agradeço imensamente, que por toda as dificuldades, estavam sempre do meu lado.

A todos os professores do IFPI, especialmente ao Professor e orientador Bruno Sombra por me acompanhar durante esse processo do trabalho de conclusão, sou grata. Aos examinadores da banca, professor Lucas Izidio e Deymes Aguiar. Aos professores, Jeová Calisto, Alexandro Nascimento, Marcos Souza, Itamar Vieira, Janete Cézar, Vilma Dias, Roselany Torres, Renata Cunha, Raimundo Pio, Wesley Vieira, Diego, Antônio Nascimento. Sou muito grata por todo aprendizado que vocês me proporcionaram durante o curso. Muito Obrigado!

A todos meus amigos e amigas que o curso de Física me apresentou, especialmente Bruna Reis, que me apoiou muito nos momentos de desânimo, desde o começo estava sempre presente nos momentos alegres e tristes. A Maria Cardoso, Raynara Fonseca, Thaynara Brena, Stefânia Ferreira, Camila Costa, Rafael Magalhães, Robson, Wesley Aguiar, Heully Fernandes, Jefferson, muito Obrigado pelo apoio. O espaço é pequeno para registrar todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada, mas, sou muito grata por cada um que de diferentes formas contribuíram ao longo do curso, direta e indiretamente. Foram muito importantes para meu desenvolvimento pessoal e social.

E aos amigos do curso de Química, Rayna Relane, Antônia Maria, Everton Azevedo, que com todas as dificuldades que tivemos para chegar no IFPI, todos os dias, correndo riscos, durante essa trajetória, juntos me ajudaram a ter força para continuar. A amizade e a presença de vocês, foram muito essenciais para alcançar esse mérito. Agradeço muito pela companhia e estou torcendo para a vitória de vocês.

E a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram positivamente, no decorrer de minha trajetória. Muito grata!

*“A humildade exprime uma das raras
certezas de que estou certo: a de que
ninguém é superior a ninguém”.*

(Paulo Freire).

RESUMO

Afins de compreender os fenômenos nos processos de formação de imagem é necessário ter conhecimentos básicos da física. São abordados nesta monografia, estudos da física das radiações nucleares e eletromagnéticas em análise da interação com a matéria, assim, passamos a construir fundamentos necessário de base teórica para entender os procedimentos físicos atuados em exames. Com isso, foram ressaltadas relações de energia absorvida nos processos de cada exame realizado, os principais efeitos adquiridos ao paciente ao contato com a radiação eletromagnética, e as diversas aplicações eletromagnéticas, inclusive na medicina. Para isso, mostrou-se necessário o estudo desde a descoberta dos raios X, até o avanço na área no tratamento de doenças e aplicações na área da saúde, nos processos radiológicos e ultrassônicos. O trabalho visa compreender os comportamentos das análises físico-químico, as descrições dos equipamentos necessário para realizar os exames e suas devidas funções. O objetivo do trabalho é mostrar e descrever as relações dos conhecimentos físico para a evolução da medicina aplicada em técnicas de diagnósticos e a importância da física na área da saúde para auxílio nos tratamentos de doenças por diagnósticos em imagem.

Palavras- chave: Física. Formação de Imagem. Diagnóstico por Ultrassom.

ABSTRACT

In order to understand phenomena in the processes of image formation, it is necessary to have basic knowledge of physics. This monograph deals with studies of the physics of nuclear and electromagnetic radiations in the analysis of the interaction with matter, so we proceed to build necessary fundamentals of theoretical basis to understand the physical procedures performed in exams. Thus, the relations of energy absorbed in the processes of each examination were highlighted, the main effects acquired to the patient on contact with electromagnetic radiation, and the various electromagnetic applications, including medicine. For this, it was necessary to study since the discovery of X-rays, until the advance in the area in the treatment of diseases and applications in the health area, in the radiological and ultrasonic processes. The aim of this work is to understand the behaviors of the physico-chemical analysis, the descriptions of the equipment necessary to carry out the examinations and their due functions. The objective of this work is to show and describe the relationships of physical knowledge to the evolution of applied medicine in diagnostic techniques and the importance of physics in the health area to aid in the treatment of diseases by diagnostic imaging.

Keywords: Physics. Image Formation. Ultrasound diagnosis

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tubo de Crookes. Retirada de (Garcia,2015)	20
Figura 2: Separação das emissões radioativas do Urânio. Retirada de (Garcia,2015)	21
Figura 3: Representação de uma onda senoidal plana eletromagnética que se propaga no vácuo com velocidade da luz na direção x em um determinado instante. Retirado de (OKUNO,2005)	29
Figura 4: A propagação de uma onda plana no vácuo. Retirada de (Halliday,2012)	30
Figura 5: Onda incidente em uma interface. Retirada (Griffiths, 2011)	34
Figura 6: Interação de uma onda incidente em um objeto e produção de ondas secundárias. Retirada de (Fontana, 2011)	35
Figura 7: Ondas eletromagnéticas. Retirada de (Hewitt,2015)	36
Figura 8: Espectro Eletromagnético. Retirada de (Hewitt,2015)	37
Figura 9: Efeito fotoelétrico. Fonte: www.cesarzen.com/FIS1056Lista4 . Acessado em: 26 nov.2018	40
Figura10: Efeito Compton: Um fóton com energia $h\nu$ e momento p , colide com um elétron livre. Após a colisão o fóton é espalhado. Adaptado de (Zettili,2009)	41
Figura11: Diagrama do fenômeno da formação de pares (Eisberg,1979).	43
Figura12: Ilustração esquemática dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas conhecidas que constituem o espectro eletromagnético. Fonte:	

< http://www.astronoo.com/pt/artigos/espectro-eletromagnetico.html >. Acessado em:	
26 nov.2018.....	45
Figura13: Representação da onda de Rádio no processo de transmissão de informação. Fonte: < https://www.todoestudo.com.br/geografia/ionosfera >. Acessado em: 26 nov. 2018.....	46
Figura14: Representação de ondas de rádio para captação de sinais de TV. Fonte: < http://www.direcaolivre.com/propagacao-de-ondas-de-frequencias-muito-altas-vhf/ >.	
Acessado em	26
nov.2018.....	47
Figura15: Representação de transmissão com ondas de micro-ondas. Fonte: < https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/ondas-de-radio-fm-e-tv >. Acessado em 26 nov.2018.....	48
Figura16: Fotografias térmicas. (A) Não fumante; (B) fumante. Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 126.....	49
Figura17: Representação do raio X em exames. Retirada de < https://helioprint.com.br/blog/radiologia-digital >. Acessado em: 25 nov.2018	
.....	51
Figura18: Esquema tubo de raios X. Retirada de (Tauhata, 2013)	
.....	52
Figura19: Fóton de raios X gerado quando a energia cinética passa próximo de um átomo. Retirada de HALLIDAY e RESNICK (2014)	
.....	53
Figura20: Equipamento de Radiografia Convencional. Fonte: < http://amantesdaradiologia.blogspot.com/ >. Acessado em 27 nov.2018	
.....	57
Figura21: Imagem de um tórax. Retirada de (Castro Júnior,2008)	
.....	58
Figura22: Aparelho Mamógrafo convencional. Retirada de Vieira <i>et.al</i> (2008)	
.....	60

Figura23: Produção de raio X. Fonte: < https://www.fcmunicamp.br/drpixel/conteudo/bases-fisicas da mamografia >. Acessado em: 20 out.2018.....	61
Figura24: Interação do raio X no tecido mamário. Fonte: < https://www.fcm.unicamp.br/drpixel/conteudo/bases-fisicas-da-mamografia >. Acessado em: 20 out.2018.....	62
Figura25: Radiografia Mamográfica. Imagem retirada de Freitas <i>et.al</i> (2006).....	62
Figura26: Portal (gantry) e a mesa de exame de aparelho de tomografia computadorizada. Retirada de (Biasoli,2016)	64
Figura27: Parte interna do Gantry de um aparelho de tomografia computadorizada. Retirada de (Biasoli, 2016)	64
Figura28: Esquema de um tubo de raio x de foco flutuante em aparelho de tomografia. Retirada de (Biasoli, 2016)	65
Figura29: Reflexão difusa de um feixe ultrassônico, T é aparelho Transdutor. Retirada (Garcia, 2015).....	68
Figura30: Reflexão especular de feixe ultrassônico. Retirada (Garcia, 2015)	68
Figura31: Ecos produzidos pelos objetos a e b. em 1 e 2 a distância entre a e b é maior do que a largura do pulso. (Garcia,2015).....	70
Figura32: Transdutor.Fonte:< https://www.aparelhosultrasom.com/transdutores.html > Acessado em: 26 out. 2018	71
Figura33: Esquema em blocos das partes de um ultrassonógrafo. Retirada de (Garcia, 2015).....	71
Figura34: Mostra transdutor emitindo feixes de ultrassom atravessando várias superfícies refletoras. Retirada de (Garcia, 2015).....	72
Figura35: Os ecos são convertidos em pontos brilhantes(forte) que depende da amplitude dos sinais. Retirada (Garcia, 2015)	73

Figura36: Os ecos são convertidos em pontos fortes, à medida que move o aparelho, gera imagem do objeto em análise. Imagem de um ventrículo direito (VD); SV, septo interventricular; A, valva aórtica; Ao, aorta; VE, ventrículo esquerdo; M, valva mitral; AE, átrio esquerdo. Retirado (Garcia, 2015)74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Propriedades Físicas de elementos que compõem os tecidos. Fonte: Bitelli (2006).....	61
Tabela 2:	Atenuação dos ultrassons. Fonte: Garcia (2015).....	69
Tabela 3:	Absorção de ultrassons em alguns meios. Fonte: Garcia (2015).....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

(A)- Valva Aórtica;

(AE) - Átrio Esquerdo;

(Ao) - Aorta;

(AEC) - (Do inglês *Automatic Exposure Control*);

(CR) – (Do inglês *Computerized Radology*);

(Dr) - Radiografia Digital Direta, (do inglês *Direct Digital Radiography*);

(M) - Valva Mitral;

OEM- Ondas Eletromagnéticas;

REM- Radiação Eletromagnética;

(SV) - Septo Interventricular;

(VD) - Ventrículo Direito;

(VE) - Ventrículo Esquerdo.

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfa (α)

Beta (β)

Beta positiva (pósitron) (β^+)

Beta negativo (β^-)

Campo magnetizante (H)

Carga do elétron (e)

Constante dielétrica no material (ϵ_r)

Coeficiente de Reflexividade (R)

Coeficiente de Transmissividade (T)

Constante dielétrica no vácuo (ϵ_0)

Comprimento de uma onda (λ)

Constante de Planck (h)

Diferença de potencial (V)

Densidade de energia (I)

Deslocamento elétrico (D)

Densidade do meio (μ)

Energia do fóton (E)

Energia máxima (K_0)

Frequência (f)

Frequência angular (ω)

Gama (γ)

Índice de refração (n)

Momento (P)

Massa (m)

Número atômico (Z)

Nêutron (n)

Neutrino (ν)

Operador Nabla (∇)

Parcial do campo elétrico em função do tempo $\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Parcial do campo magnético em função do tempo $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Permeabilidade magnética no vácuo (μ_0)

Transdutor (T)

Velocidade (v)

Velocidade da luz, (c)

Vetor campo elétrico ($\vec{E}$)

Vetor Campo magnético ($\vec{B}$)

Velocidade de propagação da onda (v)

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	18
2.	UM BREVE HISTÓRICO DA FÍSICA DAS EMISSÕES RADIOATIVAS.....	19
2.1.	Emissões de partículas alfas (α)	22
2.2.	Emissões de partículas betas (β).....	23
2.3.	Emissões de radiação gama (γ).....	25
3.	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	25
3.1.	PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NO VÁCUO.....	26
3.1.2.	PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA MATÉRIA	31
3.2.	Reflexão e Transmissão de onda.....	35
3.3.	RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA.....	36
3.3.1.	RADIAÇÕES IONIZANTES.....	37
3.3.2.	RADIAÇÕES NÃO-IONIZANTES.....	38
3.3.3.	INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A MATÉRIA.....	39
3.4.	OUTROS FENÔMENOS RELACIONADOS.....	39
3.4.1.	Efeito Fotóeletrico.....	39
3.4.2.	Efeito Compton.....	41
3.4.3.	Produção de Pares.....	43
4.	DIVERSAS APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.....	44
4.1.	AS ONDAS DE RÁDIO.....	46
4.2.	RADIAÇÃO MICRO-ONDAS.....	47
4.3.	RADIAÇÃO INFRATERMELHA.....	48
4.4.	RAIO (γ).....	49
5.	APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM EXAMES DE IMAGEM.....	50
5.1.	RAIO X.....	51
5.1.2.	ATENUAÇÃO DE RAIOS X E FORMAÇÃO DE IMAGENS.....	54
5.1.3.	TIPOS DE RADIOGRAFIA.....	55
5.1.3.1	Radiografia Convencional.....	56
5.1.3.2.	Radiografia Computadorizada.....	57
5.2.	MAMOGRAFIA.....	59
5.3.	TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA.....	62

5.4. ULTRASSONOGRAFIA.....	66
5.4.1 Princípios do pulso eco.....	67
5.4.2. Eco Difuso e Especular.....	67
5.4.3. Atenuação dos Ultrassons.....	69
5.4.4. Equipamentos de Ultrassonografia.....	70
5.4.5. Tipos de Ultrassonografias.....	72
5.4.6. EFEITOS BIOLÓGICOS DOS ULTRASON.....	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho, é realizado um estudo bibliográfico onde são abordadas as diversas aplicações das ondas eletromagnéticas e das radiações eletromagnéticas, destacando sua utilização na área da saúde, mais especificamente, em diagnósticos por imagem.

Para melhor compreensão do tema, foram abordados os princípios físicos das ondas eletromagnéticas e das radiações eletromagnéticas, em artigos e livros de Física das Radiações, Química e Biofísica. Nestes materiais são apresentados estudos da área de radiações que serviram de base para o desenvolvimento da medicina, através da utilização das radiações eletromagnéticas nos diagnósticos para tratamento de doenças.

No capítulo intitulado "UM BREVE HISTÓRICO DA FÍSICA DAS EMISSÕES RADIOATIVAS", o principal objetivo é apresentar um histórico do estudo das emissões radioativas, os principais termos e conceitos utilizados na caracterização deste fenômeno. No capítulo seguinte, "ONDAS ELETROMAGNÉTICAS", é uma descrição geral das ondas eletromagnéticas no vácuo, e na matéria, bem como, conceitos relacionados à interação da radiação com a matéria, seus principais efeitos e as relações do comportamento dos elétrons em diferentes estados de energia.

No quarto capítulo, são mencionadas diversas aplicações das ondas eletromagnéticas no cotidiano, especificando as características envolvidas em cada processo, como por exemplo, de como o sinal de TV chega até nossas casas, e os efeitos nocivos e benéficos causados ao ser humano pela exposição às ondas eletromagnéticas. No quinto capítulo, são descritas algumas aplicações da radiação eletromagnética na medicina, um histórico é apresentado explorando os princípios físicos e químicos mais relevantes da produção de raio X, para fins de obtenção de imagens radiográficas. Também, realizadas análises do comportamento da radiação e dos ecos no processo de obter imagens de órgãos internos em uma ultrassonografia, bem como, análises físicas de equipamentos utilizados nos diagnósticos por imagem, além disso são retratados os efeitos biológicos dos feixes ultrassônicos e a relação entre frequência e absorção em determinados tecidos do corpo.

O objetivo principal deste trabalho é mostrar a relação entre a evolução dos conhecimentos físicos, e a evolução da medicina através da utilização da física aplicada às técnicas de diagnóstico para tratamento de doenças.

2. UM BREVE HISTÓRICO DA FÍSICA DAS EMISSÕES RADIOATIVAS

Neste capítulo são abordados os princípios físicos relacionados à Física das radiações. A descoberta das radiações, surgiram as primeiras evidências, quando o físico inglês William Crookes (1832-1919), na década de 1870 desenvolveu um experimento de ampola de vidro de cristal, que contém duas placas metálicas a placa ligada ao pólo negativo (cátodo) e outra ligada ao pólo positivo (ânodo), e nessa ampola com gás de baixa pressão atmosférica. Quando um dos pólos é ligado a uma fonte de alta tensão elétrica, surge feixe luminosos que atravessa o tubo. A partir desse experimento observou que os raios luminosos que desencadeava eram os raios catódicos¹. Com a experiência, Crookes deixou embalagens contendo chapas fotográficas próximo do tubo, e verificou que algum tempo depois, as chapas fotográficas estavam sensibilizadas. Muitos dos estudiosos da época realizaram novos experimentos em relação ao tubo de Crookes, um deles foi o Alemão Wilhelm Conrad Röntgen, realizou experimentos para estudo da luminescência, especificamente tubo de Crookes² no formato de uma pêra e possuía dois eletrodos: um cátodo e um ânodo, conforme a figura 1, com a existência de um gás rarefeito no interior da ampola. Ao aplicar uma diferença de potencial entre os eletrodos, provocou a ionização do gás, fazendo os cátions (íon positivo) migrarem para cátodo (íon negativo), causando colisões das partículas pela alta tensão. Durante o experimento, verificou que partes dos raios catódicos produzidos escapava do tubo, assim colocou lâmina delgada de alumínio revestida por platinocianeto de bário, próxima da máscara do tubo de crookes e comprovou através da máscara do tubo, que haviam escapados raios catódicos suficiente para provocar a fluorescência. Estudou o fenômeno que ocorreu e abriu uma janela na parede de vidro do tubo e observou que foram emanados um pequeno fluxo de raios catódicos e com um

¹ Raios catódicos: é radiação que consiste em feixes de elétrons emitidos entre catodo e anodo, por diferença de potencial em tubo de gás rarefeito.

² Tubo de Crookes: É um experimento elétrico num tubo de descarga, parcialmente no vácuo, inventado pelo físico inglês William Crookes, através do qual os raios catódicos foram descobertos.

cartão negro colocou para impedir toda luminosidade indesejada. Após excitar o tubo verificou raios amarelo esverdeada, concluindo que o cátodo do tubo não era responsável pela fluorescência e que se tratava de um raio desconhecido que foi denominado de raio X (GARCIA, 2015. p. 321). Este trabalho rendeu a Röntgen, o prêmio Nobel de física em 1901.

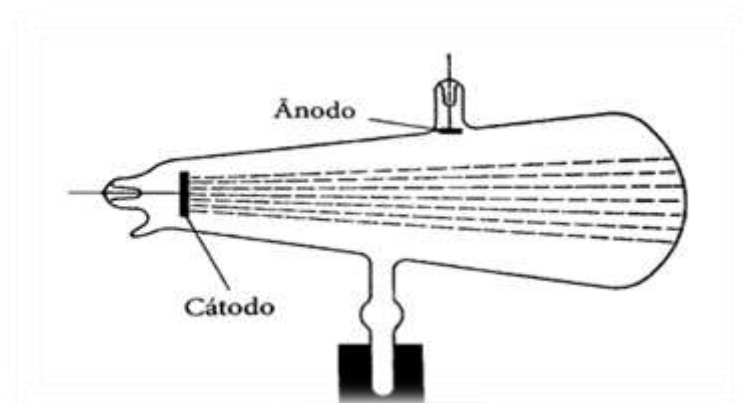


Figura 1: Tubo de Crookes. Retirada de (Garcia, 2015).

A emissão do raio X, ocorre quando os elétrons são acelerados, devido à uma intensa diferença de potencial elétrico, e são desacelerados pela colisão com outros átomos (CARDOSO, 2017). Na medida em que as colisões ocorrem, os átomos perdem energia, que é irradiada por meio de ondas eletromagnéticas.

Rutherford em 1899, estudando sobre as emissões radioativas do urânio, concluiu que existia dois tipos de radiação chamadas de alfa e beta, que na qual apresentava comportamentos diferenciados em uma região de campo magnético. A partir de 1900, Curie e Villard, com mais conhecimentos e estudos sobre o problema, descobriram uma terceira radiação que denominaram de gama, pois não sofria desvios em campos magnéticos. A figura 2, mostra o desvio das partículas interferidas por um campo magnético.

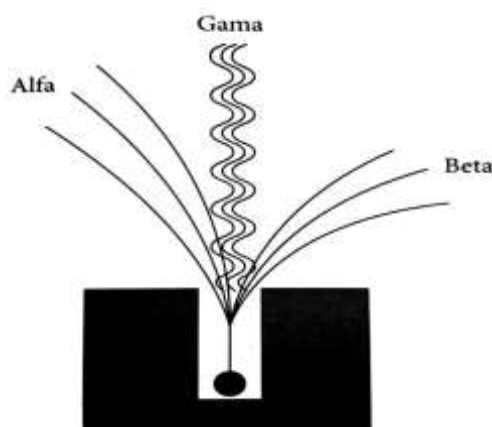


Figura 2. Separação das emissões radioativa do Urânio. Retirada de (Garcia, 2015).

O efeito ocorre em virtude de que a partícula beta possui menor massa do que a partícula alfa, a trajetória das partículas é sinônimo da interação com o campo magnético e sua capacidade energética (GARCIA, 2015. p. 392).

Depois de anos da descoberta dos raios X, o físico francês Becquerel (1852-1908), resolveu verificar através do experimento de Röntgen, uma possível emissão de radiação semelhante com substância de urânio e descobriu que a emissão radioativa era espontânea e não absorvida. A franco-polonesa Marie Curie em 1896, foi indicada pelo físico francês Becquerel a continuidade aos estudos com minério de urânio. Observou que essa substância apresentava uma quantidade de radiação mais elevada do que outras substâncias. Em parceria com o físico francês Pierre Curie, seu esposo, isolou átomos de dois elementos químicos desconhecidos, o primeiro era cerca de 400 vezes mais radiativo que o urânio, sendo denominado rádio, e outro cerca de 60 vezes radiativo que o urânio foi denominado polônio. Em 1903 Becquerel e o casal Curie ganharam prêmio Nobel de Física (CARDOSO, 2017).

A radiação é uma forma de energia que se propaga a partir da emissão de uma fonte específica, podendo ser transmitida através de qualquer meio, seja ele um meio material, ou o vácuo. A radiação é apresentada em atômicas ou subatômicas (Corpuscular), originada no núcleo de átomos instáveis, e eletromagnética, que transporta energia por meio da propagação ondulatória (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

A radiação corpuscular é constituída de partículas atômicas e subatômicas, com massa e emitidas por núcleos atômicos instáveis. Uma das características é poder ou não transportar cargas elétrica. São exemplos de radiação corpuscular as partículas alfas (α), beta positiva (β^+), beta negativa (β^-), nêutron (n), entre outras (OKUNO, p.13. 2007).

A partícula alfa é composta pela união de dois prótons e dois nêutrons. As partículas betas são constituídas por um elétron (β^-) ou um pósitron (β^+). Essa radiação, transfere energia de uma partícula para a outra por meio de choques, na medida que uma partícula com alta energia cinética é capaz de retirar um elétron da órbita em um choque, assim, causa o processo de ionização no átomo que é atingido.

A grande maioria dos materiais encontrados na natureza, são materiais radioativos, cerca de 1% dos átomos descobertos são instáveis e átomos com número atômico maior que 82, que é o número atômico do Chumbo, são radioativos. As emissões nucleares, quando as emissões partem do núcleo dos átomos instáveis, são divididas em três tipos de partículas para busca de estabilidade, que são denominadas por três letras do alfabeto grego: o *alfa* (α), *beta* (β) e *gama* (γ) (SANTOS e MÓL, 2013; HEWITT, 2015).

2.1. Emissões de Partículas alfas (α)

Os estudos realizados por Becquerel sobre a emissão de radiação, com substância de urânio, despertou a curiosidade de Rutherford, que observou diferentes níveis de absorção da radiação alfa em relação a beta e gama. Quando se aplica um potencial elétrico sobre uma trajetória de uma radiação alfa, para Rutherford essa radiação seria positiva, pois observada o desvio para o pólo negativo da placa. A radiação alfa é constituída por dois prótons e dois nêutrons, iguais ao átomo de hélio. Soddy em 1911, com trabalho junto a Rutherford sobre a partícula alfa emitida de um núcleo que perde seus 2 elétrons e 2 nêutrons, assim propôs a primeira lei da radioatividade, “Quando um átomo de um elemento químico emite uma partícula Alfa, forma-se átomos de outro elemento químico cujo número atômico é menor em duas unidades e cujo número de massa é menor em quatro unidade”.

Depois que ocorre a emissão alfa, e as eletrosferas não tenha se modificado, o átomo filho, ao ser criado possui uma forte carga elétrica, por que terá dois elétrons a mais do que prótons, assim para estabilizar necessariamente o novo elemento criado terá que perder esses elétrons.

As partículas alfas se propagam no espaço percorrendo trajetórias retilíneas, quanto mais energética, maior será o caminho percorrido (GARCIA. p.401, 2015). As partículas quando interagem com os átomos do meio, perdem maior parte de sua energia cinética, e boa parte da energia é dissipada pelo processo de colisão mecânicas, e ao transferir energia para o meio, a velocidade dessas partículas diminui. Durante a trajetória as partículas alfas quando excitada e ionizada pelo meio percorrido, favorece a produção maior de pares iônicos.

2.2. Emissões de partículas beta (β)

A partir de 1900, com estudo da radiação beta, Becquerel observou que quando submetida a interação com um campo elétrico a partícula desviava para o lado positivo da placa que continha elemento químico, logo decifraram que possuía carga negativa e massa pequena em relação a partícula alfa. Perceberam que a partícula possuía núcleos de átomos radioativos, quando um núcleo radioativo emite partícula beta, sua massa não varia e o número atômico aumenta (CARDOSO.p.63, 2017).

As partículas betas têm carga positivas e cargas negativas, e elétrons negativos e positivos (pósitrons), que são anti-partículas dos elétrons. Se a partícula beta tem origem nuclear, como emite elétrons se o núcleo é composto por prótons e nêutrons? Partindo dessa indagação, Enrico Fermi em 1934, descobriu uma nova partícula denominada de neutrino (ν), é neutra e sem massa. A descoberta dos neutrinos só foi possível por meio da observação do fenômeno do decaimento beta. Esse evento ocorre quando o núcleo de um elemento radioativo emite uma partícula beta, capaz de romper um nêutron e provocar alteração no número de prótons do elemento, assim transformando em outro tipo de substância. Quando se observa os elétrons emitido durante o decaimento beta, percebeu que não possuía toda a energia perdida no núcleo do elemento radioativo. Em 1930, o físico austríaco Wolfgang Pauli propôs que a energia deveria pertencer a uma partícula sem carga

elétrica. O italiano Enrico Fermi, acreditava na hipótese de Pauli e chamou essas partículas de neutrinos, que em italiano significa pequenos nêutrons. Fermi, formulou a teoria consistente para descrever o processo quantitativamente o espectro da radiação beta e por isso a existência do neutrino passou a ser aceita.

Diante das hipóteses, Pauli estava querendo compreender a continuidade do espectro das partículas beta emitida por radionuclídeo e porque existiam partículas dotadas de energia que variava próximos de zero, pois no processo de decaimento beta violava a conservação da energia e do momento. Logo, com suas suposições Pauli propôs que ao formar partículas beta negativas deveria ser criada uma antipartícula e propôs o antineutrino³ de elétrons responsável para explicar a transporte de energia e no processo do decaimento beta no qual um nêutron torna-se um próton (GARCIA, 2015).

A emissão da partícula beta negativa ocorre quando existe interação com a matéria. Um nêutron dentro do núcleo se transforma em um próton emitindo elétron e um antineutrino. O núcleo tem a diminuição de um nêutron e o aumento de um próton. Desse modo, o número de massa permanece constante e o número atômico aumenta.

Quando a interação com a matéria acontece por meio de colisão dos núcleos, é dividida em elástica e inelástica. Elástica quando a energia se conserva e a trajetória da partícula beta se altera e inelástica quando na colisão há redução da energia cinética.

Frederick Soddy (1877-1956) químico e inglês e outro químico polonês Kasimir Fajans (1887-1975), no estudo da emissão beta pelo núcleo de um átomo instável, o núcleo tem diminuição de um nêutron e aumento de um próton, isso levou a proposta de uma segunda lei da radioatividade definida: “quando átomos de um elemento químico emitem radiação beta, forma-se átomos de outro elemento químico cujo número atômico é maior em uma unidade e cujo número de massa é inalterado” (SANTOS E MÓL, 2013). No caso da emissão beta, um nêutron de cada

³ Antineutrino: é uma partícula elementar subatômicas, e uma antipartícula do neutrino de elétron. Eles são produzidos naturalmente nas variações possíveis do decaimento beta, o beta negativo, no qual um nêutron torna-se um próton.

átomo é transformado em próton e com isso o átomo possui mais prótons do que o átomo de origem.

A emissão da partícula beta positiva, indica a transformação de um próton em um nêutron com emissão de um pósitron mais um neutrino. A interação dessas partículas positivas, quando o pósitron é ejetado dos núcleos com uma certa quantidade de energia, ao longo da trajetória produz estímulo elétrico para processo de ionização, sendo assim o neutrino que tem função de antipartícula, interagem com elétrons do meio e ocorre aniquilação que é o fenômeno caracterizado pela transformação da matéria em energia eletromagnética (GARCIA, 2015).

2.3. Emissão de radiação gama (γ)

Baseado nos estudos de Rutherford, o físico e químico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934), em 1900, descobriu que um certo tipo de radiação corpuscular, a qual posteriormente deu o nome de radiação Gama não era afetada pela ação de campos elétricos. Esta foi considerada um tipo de radiação eletromagnética resultante da redistribuição das cargas elétricas em um núcleo atômico (CARDOSO, 2017).

Assim como os raios X, não possui carga e nem massa, é constituída por fótons de alta energia provenientes do núcleo atômico. Um núcleo excitado pode produzir radiação gama suficiente para a criação de um pósitron e um elétron que, quando formados, afastam-se com grande energia cinética. As conversões internas com o fóton ejetado no núcleo, interagem por efeito fotoelétrico com elétrons do próprio orbital, assim arrancando elétrons e produzindo raios X, como também outros tipos de radiação eletromagnéticas (GARCIA, 2015).

3. ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas, são ondas formadas a partir de ajustes do campo magnético e elétrico, que se propagam no meio com transporte de energia (MACHADO, 2002). Utilizando das leis experimentais de Faraday e Coulomb, Ampère e de suas próprias concepções teóricas acerca do estudo de campo magnético e elétrico, o Escocês James C. Maxwell, para conceituar o que é uma onda eletromagnética, estudou através de raio luminosos se propagando no espaço.

Maxwell contribuiu na ciência através de leis básicas do campo elétrico e campo magnético com um conjunto de equações que restringe conhecimento de eletromagnetismo, tendo uma fundamental importância para possibilitar a existência de ondas eletromagnéticas (NUSSENZVEIG, 2003).

Através do conjunto de equações, provou-se que a variação ocasionada pela superposição do campo magnético e campo elétrico, apresenta todas características ondulatórias. Com isso, pode-se dizer que uma radiação eletromagnética também sofre os mesmos fenômenos de uma onda, através da reflexão, na propagação em meios materiais. O motivo da causa da interferência da superposição de campo magnético e elétrico, foi denominado de ondas eletromagnéticas (TAUHATA, 2003).

As ondas eletromagnéticas se originam pela propagação perpendiculares entre si do campo elétrico e magnético, assim indica que é uma onda transversal. Ao contrário das ondas mecânicas que precisa de um meio para se propagar, as ondas eletromagnéticas não necessariamente precisam de um meio para se propagar, pois o campo elétrico e magnético pode ocorrer na ausência de matéria (HALLIDAY, 2012).

3.1. PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NO VÁCUO

A onda, define-se como perturbações que ocasiona em um determinado meio. As ondas mecânicas, tem como características que exige de um meio material para se propagar, mas, também as ondas eletromagnéticas pode ocorrer com a inexistência do meio para se propagar, ou seja, a onda se propaga no vácuo (NUSSENZVEIG, 2003).

Para propagação no vácuo, consiste em ondas eletromagnéticas em uma região que não contem cargas e nem corrente, pois não há matéria, com isso pode haver campos elétricos e magnéticos. As características em comum entre ambas, existe grandezas Y , associadas que obedecem a equação (1) da onda.

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} \quad (1)$$

Essa onda se propaga com velocidade v , e na direção x , em uma onda plana no vácuo, essa onda se propaga em uma única direção, além de ser

linearmente polarizadas. Apresenta inúmeras características por meio de transporte de energia, dissipação, geração e armazenamento de energia nos meios materiais isso pode ser descrita através das equações de Maxwell (OKUNO, 2005). A lei de Gauss é uma das equações de Maxwell, onde estabelece uma relação entre o fluxo do campo elétrico através de uma superfície fechada com carga elétrica dentro do volume limitado por uma superfície (HALLIDAY, 2012).

A lei de Faraday, diz que a variação do fluxo induz um campo elétrico que se opõe à variação do campo magnético, produzindo assim um campo magnético positivo e perpendicular (HALLIDAY, 2012). A lei de Ampère é responsável para indicar a intensidade do campo magnético da onda (MACHADO, 2002).

Escrevendo, a lei de Gauss para o campo elétrico e a lei de Faraday, temos as seguintes equações

$$\frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial y} = \frac{\partial E}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Consequentemente, a lei de Gauss para o campo magnético e a lei de Ampère-Maxwell:

$$\frac{\partial B}{\partial x} = - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial B}{\partial t} \quad (4)$$

$$\frac{\partial B}{\partial y} = \frac{\partial B}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

Onde, μ_0 representa a permeabilidade magnética no vácuo e ε_0 é a constante dielétrica no vácuo, cujos os respectivos valores são, $4\pi \times 10^{-17}$ Wb/(A.m); $8,85418 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$;

Derivando a equação (2), em relação a x , e a equação (4) em relação a t :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = - \frac{\partial^2 B}{\partial x \partial t} \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial x \partial t} = - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (7)$$

Quando se combina as equações (6) e (7), resulta em uma equação de onda associada ao campo elétrico.

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} \quad (8)$$

É uma equação similar a equação (1), indica que o campo elétrico se propaga ao longo do eixo x , com velocidade dada por:

$$\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} = v^2 \quad (9)$$

Substituindo os valores das constantes, o valor obtido é exatamente aproximado a velocidade da luz, $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$. Resultado importante obtido por Maxwell, a velocidade com que as ondas eletromagnéticas se propagam, todas as ondas eletromagnéticas, inclusive a luz visível propaga no vácuo com velocidade da luz (HALLIDAY, 2012).

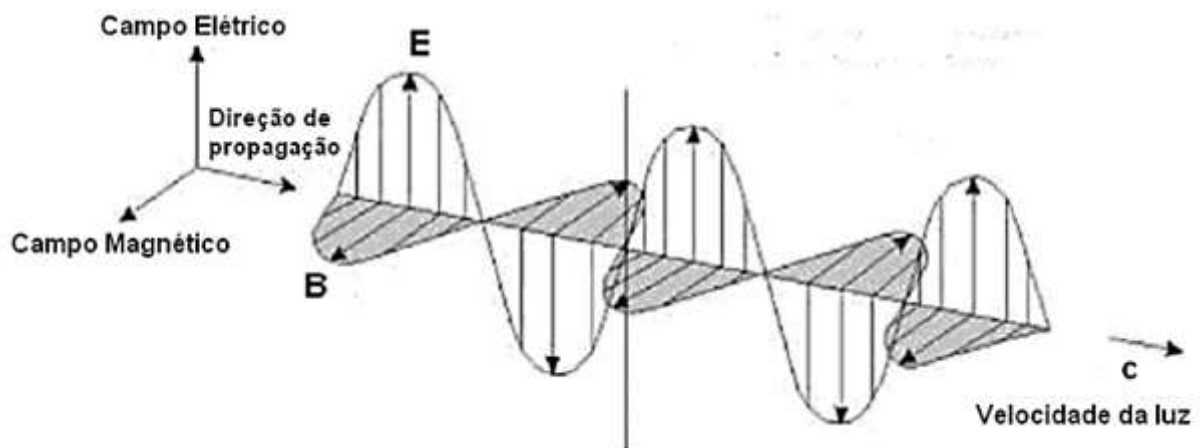


Figura 3: Representação de uma onda senoidal plana eletromagnética que se propaga no vácuo com velocidade da luz na direção x em um determinado instante. Retirado de (OKUNO, 2005).

Os campos são perpendiculares a direção de propagação da onda, podendo ser descrito através de funções senoidais, representado pela Figura 3. Uma solução da equação (8) apresentada por

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (10)$$

A amplitude do campo elétrico é E_0 , a constante k , representa $2\pi/\lambda$ é denominada o número de ondas outra característica da onda é a frequência angular que é dada por, $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$, onde T , é o período da onda, relacionada ao tempo necessário para uma onda percorrer a uma distância ao comprimento de onda λ , e f é a frequência de onda que indica o número de oscilações por unidade de tempo.

A solução para o campo magnético é similar ao campo elétrico, que também representa uma função senoidal, componente magnética representada por

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \text{sen}(kx - \omega t) \quad (11)$$

Essas soluções desses componentes magnética e elétrica, são perpendiculares entre si, com a propagação com a mesma velocidade da luz. Derivando a equação (10) em relação a x e a equação (11) em relação à t , obtemos as seguintes expressões:

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} = k \mathbf{E}_0 \cos(kx - \omega t) \quad (12)$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\omega \mathbf{B}_0 \cos(kx - \omega t) \quad (13)$$

Igualando essas duas equações acima, obtém-se a seguinte representação

$$k \mathbf{E}_0 = \omega \mathbf{B}_0 \text{ Ou } \frac{E_0}{B_0} = \frac{\omega}{k} = c \quad (14)$$

A equação (14), indica que a razão entre as amplitudes é igual a, c , que é a velocidade da luz e logo podemos dizer que esses campos estão em fase, os dois campos criam entre si indução responsável pela variação dos campos que se propaga como onda. A figura 3, representa um campo magnético oscilante que induz um campo elétrico perpendicular. Uma característica de toda e qualquer onda, tem a capacidade de transportar energia à medida que se propaga e quando encontra objetos para transferir energia à eles (EISBERG,1979).

Com a descoberta do valor encontrado na equação (9), coincidir com a velocidade da luz, Maxwell conseguiu provar no papel que a luz é uma onda eletromagnética e em meados do século XIX, os físicos sabiam que a luz tratava-se de um fenômeno ondulatório, mas não sabia qual natureza pertencia. A descoberta da natureza da luz possibilitou a unificação da ótica e do eletromagnetismo e suas leis podem ser deduzidas a partir das equações de Maxwell (CARUSO, 2016).

No final do século XIX o Físico Alemão Heinrich Hertz, conseguiu um laboratório para fazer seus experimentos com intuito de obter ondas eletromagnéticas com todas as propriedades propostas por Maxwell, com as verificações experimentais feita em 1887, produziu ondas por meio de circuitos oscilantes e depois com circuitos sintonizados na mesma frequência, assim foram

confirmadas as hipóteses elaboradas por Maxwell de que a luz é realmente uma onda eletromagnética. Seu trabalho foi homenageado, com isso colocou o nome Hertz para unidade de frequência (NUSSENZVEIG, 2003).

Diante dos experimentos de Heinrich Hertz, descobriu que em uma onda os dois campos – campo elétrico e magnético oscilam a mesma frequência se auto induzem. A velocidade de propagação da onda (v), é proporcional ao comprimento de uma onda (λ) e frequência (f), em ondas eletromagnéticas no vácuo, obtém a mesma velocidade. As ondas se diferenciam pela frequência, ou consequentemente o comprimento de onda, as faixas de frequência e o comprimento é o responsável para caracterizar os tipos de ondas eletromagnéticas, denominado espectro eletromagnético (OKUNO, 2013).

Outra teoria importante para o estudo de onda foi desenvolvida por Huygens, que possui enorme vantagens em explicar as leis de reflexão e refração de ondas. O Princípio diz: “Todos os pontos de uma frente de onda se comporta como fontes pontuais de ondas secundárias” (HALLIDAY, 2012). Conforme a figura 4, a localização de uma onda plana, viajando no vácuo representada no plano ab , os pontos se comporta como fontes pontuais de ondas secundárias emitidas em instante zero. O princípio de Huygens, depois que ocorre variação de instantes a nova posição de frente de onda é dada por superfície tangente, as ondas secundárias.

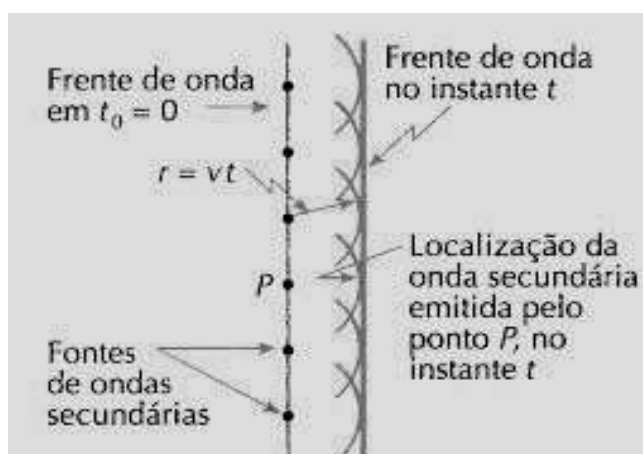


Figura 4. A propagação de uma onda plana no vácuo. Retirada de (HALLIDAY, 2012)

3.1.2. PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NA MATÉRIA

O fenômeno de propagação da onda eletromagnética é importante na área de eletrônica e matéria condensada, devido à capacidade de transportar dados. A propagação das ondas têm aplicação em diversas natureza, inclusive não é apresentada pelo campo no vácuo inversamente proporcional a constante dielétrica no material (REZENDE, 2004). O dielétrico é formado de cargas elétricas e isso sofre uma força devido a presença de carga elétrica externa que ocasiona deslocamentos. As pequenas cargas induzidas na superfície do material passam a criar um campo em todo o espaço do material. Considerando propagação em meio linear dentro da matéria, sabendo que existe regiões onde não há carga/ou corrente livre, isso as equações de Maxwell torna-se da seguinte representação por

$$(I) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 0 \quad (15)$$

$$(II) \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (16)$$

$$(III) \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (17)$$

$$(IV) \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (18)$$

Onde $D = \epsilon \vec{E}$, indica o deslocamento elétrico e $\vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{B}$ em que representa campo magnetizante. Analisando em meio homogêneo, as equações de Maxwell reduz para as expressões análogas para o vácuo, em operadores diferenciais:

$$(I). \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad (19)$$

$$(II). \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (20)$$

$$(III). \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (21)$$

$$(IV). \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (22)$$

Utilizando as duas últimas equações entre operadores diferenciais equações (21) e (22), obtemos a equação (23) que descreve a evolução do campo elétrico,

relacionada a variação espacial do campo com a variação temporal, para uma onda plana se propagando na direção x de um sistema a equação é dada por

$$\frac{\partial^2 F(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 F(x,t)}{\partial t^2} \quad (23)$$

Esta é a equação da onda para campo vetorial em uma dimensão, sendo que a solução da equação é,

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos(kx - \omega t) \quad (24)$$

Onde $\mathbf{E}_0$ é vetor constante, substituindo essa equação (24) na equação (23), mostra que é sua solução se $w = vk$, logo o vetor k constante é necessário ser perpendicular a direção de propagação. Agora substituindo a equação na lei de Ampère, temos a obtenção da solução para campo magnético

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \cos(kx - \omega t) \quad (25)$$

Onde $\mathbf{B}_0$ são perpendicular a direção de propagação ao campo elétrico. Essas soluções definem que em algum ponto qualquer variam no tempo com a frequência angular. Permite dizer, que $\omega = 2\pi\nu$ e $\nu = 1/T$. O vetor perpendicular aos dois campos é chamado de vetor onda, a sua interpretação está no comportamento espacial da onda. Observe a figura 3, os campos magnético e elétrico variam senoidalmente ao longo da direção de propagação sendo que a cada distância corresponde $\lambda = 2\pi/k$, suas fases são repetidas corresponde a um período completo em relação ao vetor onda.

As ondas eletromagnéticas se propagam através do meio homogênea e linear a uma velocidade de fase da onda, neste caso é

$$\frac{c}{n} = \frac{1}{\mu\epsilon} = v^2 \quad (26)$$

Como $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$, logo, $n = \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{\mu_0\epsilon_0}}$ é o índice de refração do material e que maioria dos matérias $\mu \cong \mu_0$

$$n \cong \sqrt{\epsilon_r} \quad (27)$$

Em que ϵ_r é a constante dielétrica no material, quase sempre maior que 1, com isso a luz viaja lentamente através da matéria. Isso se aplica a densidade de energia, em que a energia armazenada nos campos estabelecida da seguinte forma

$$u = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \frac{1}{\mu} B^2) \quad (28)$$

De acordo com que a onda viaja, essa energia armazenada é inserida no sistema.

$$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu}(\mathbf{E} \times \mathbf{B}) \quad (29)$$

O fluxo de energia é transportado pelos campos é dada pelo vetor de Poynting na equação (29), indica a densidade direcional do fluxo de energia. A direção do vetor de Poynting de uma onda eletromagnética em um ponto qualquer do espaço indica a direção de propagação da onda e a direção de transporte de energia nesse ponto (HALLIDAY, 2012). A densidade de potência transmitida em uma direção perpendicular a dois campos, é representada

$$I = \frac{1}{2} \epsilon v E_0^2 \quad (30)$$

De acordo com a densidade de energia, associada ao campo elétrico e a equação (29), podemos escrever a intensidade da onda, na qual se propaga no material. Não é difícil ver a onda se propagar em qualquer direção o vetor $\mathbf{k}$ é o responsável da direção e sentido de propagação. Além da forma harmônica é útil representar os campos na forma complexa, usando a identidade Euler $e^{i\theta} = \cos\theta + i\sin\theta$. Assim o campo elétrico pode ser escrito da seguinte forma

$$\mathbf{E}(\mathbf{x}, t) = \text{Re} [\mathbf{E}_0 e^{i(kx - \omega t)}] \quad (31)$$

Uma forma de gerar ondas eletromagnéticas é através de cargas elétricas em movimento, as ondas harmônicas do tipo eq. (25), resulta em cargas em movimento oscilatórios ou correntes alternadas, reflexão e transmissão para incidência normal, supondo um plano xy forma o contorno entre dois meios lineares, uma onda plana de frequência viajando na direção z e polarizando em x de acordo com a figura (5).

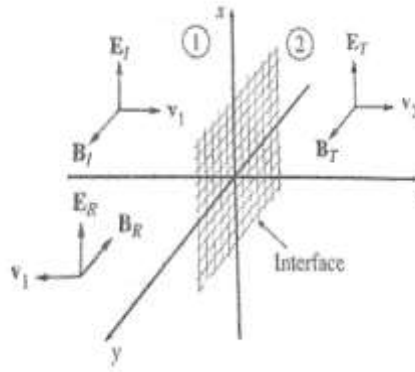


Figura 5: Onda incidente em uma interface. Retirada de (GRIFFITHS, 2011)

Temos que para uma onda incidente é representada pela seguinte equação:

$$\tilde{\mathbf{E}}_I(z, t) = \tilde{\mathbf{E}}_{0I} e^{i(kz - \omega t)} \hat{x} \quad (32)$$

$$\tilde{\mathbf{B}}_I(z, t) = \frac{1}{v_1} \tilde{\mathbf{E}}_{0I} e^{i(kz - \omega t)} \hat{y} \quad (33)$$

Essa mesma onda que incide uma interface, produz uma onda refletida:

$$\tilde{\mathbf{E}}_R(z, t) = \tilde{\mathbf{E}}_{0R} e^{i(-kz - \omega t)} \hat{x} \quad (34)$$

$$\tilde{\mathbf{B}}_R(z, t) = -\frac{1}{v_1} \tilde{\mathbf{E}}_{0R} e^{i(-kz - \omega t)} \hat{y} \quad (35)$$

A onda que viaja de volta para esquerda no meio 1, é uma onda transmitida dessa forma

$$\tilde{\mathbf{E}}_T(z, t) = \tilde{\mathbf{E}}_{0T} e^{i(kz - \omega t)} \hat{x} \quad (36)$$

$$\tilde{\mathbf{B}}_T(z, t) = \frac{1}{v_2} \tilde{\mathbf{E}}_{0T} e^{i(kz - \omega t)} \hat{y} \quad (37)$$

Que continua viajando para a direita da representação 2, na figura (5), o sinal negativo do campo magnético na equação de reflexão significa que o vetor de Poynting aponta a direção de propagação, tornando $z = 0$, os campos na esquerda será a soma dos coeficientes de amplitude do campo elétrico incidente e refletido e a soma do campo magnético incidente e refletido, isso devido as condições a natureza da onda é trivial resolver dizendo que as somas $\tilde{\mathbf{E}}_I + \tilde{\mathbf{E}}_R = \tilde{\mathbf{E}}_T$. Com isso as amplitudes de saída em termos da amplitude incidente em função da permissividade e número de ondas adquiridas e velocidade próximas dos valores do vácuo. A fração de energia incidente e refletida será igual a intensidade a potência media por unidade de área, logo a relação entre intensidade refletida e intensidade incidente é

$$R \equiv \frac{I_R}{I_I} = \left(\frac{E_{0R}}{E_{0I}} \right)^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (38)$$

Enquanto a relação de intensidade transmitida e incidente

$$T \equiv \frac{I_T}{I_I} = \frac{\epsilon_2 v_2}{\epsilon_1 v_1} \left(\frac{E_{0R}}{E_{0I}} \right)^2 = \frac{4n_1 n_2}{(n_1 + n_2)^2} \quad (39)$$

Logo, R e T são os coeficientes de reflexão e transmissão por ordem de fração de energia como o processo requer a conservação de energia podemos referir que

$$R + T = 1.$$

3.2. Reflexão e Transmissão de Onda

Quando uma onda se propaga em algum objeto com propriedades diferentes do meio de propagação são produzidas ondas secundárias, devido as reações dos dipolos magnéticos e elétricos que constitui o material (NUSSENZVEIG, 2003). Dependendo da forma geométrica do obstáculo que a radiação incide bem como a composição e a homogeneidade do objeto pode ocorrer ou não espalhamento difuso ou seja reflexão e transmissão em várias direções, conforme a figura 6, há situação que são modelados, quando isso ocorre as frentes de ondas refletidas e transmitida assume a mesma forma da onda incidente.

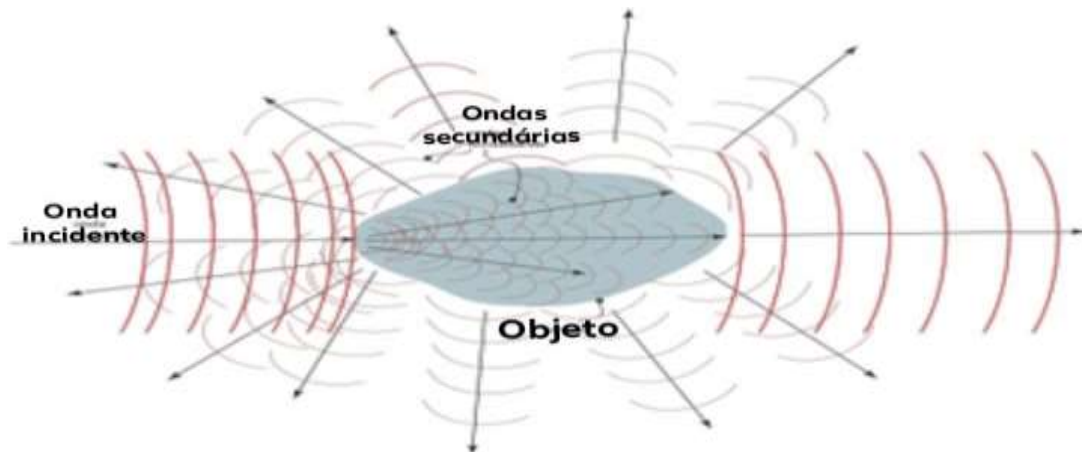


Figura 6: Interação de uma onda incidente em um objeto e produção de ondas secundárias. Retirada de (FONTANA, 2011)

3.3. RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

São ondas sobrepostas de um campo elétrico e um campo magnético perpendiculares entre si, conforme a Figura 7, onde se propaga no vácuo com a velocidade da luz. Exemplos, que pode ser encontrada na natureza e nos ambientes explorados pelo homem, e comuns no convívio do dia a dia, podemos, citar o micro-ondas, as máquinas de raio X e a luz do sol, estas radiações possui várias aplicações, o que diferencia é a frequência de utilização.

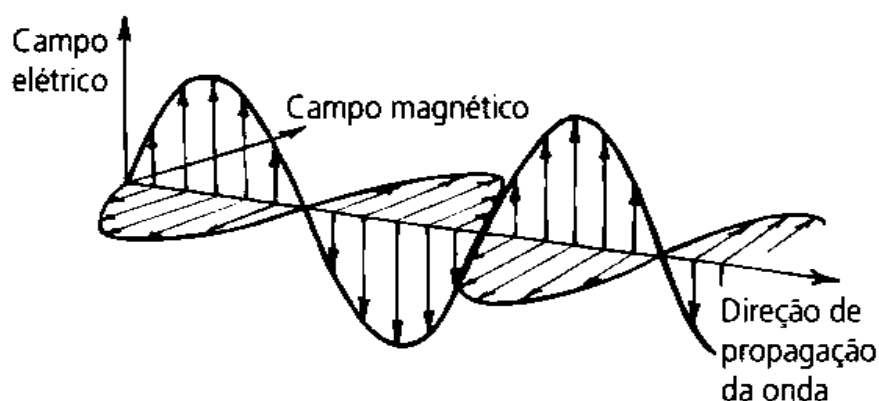


Figura 7: Ondas eletromagnéticas. Retirada de Hewitt (2015).

O Cientista James Clerk Maxwell, em 1861 mostrou que a luminosidade é efeito de uma propagação de campos elétricos e magnéticos, a partir daí pode se constatar que a ótica estava inserida nos fenômenos eletromagnéticos (NUSSENZVEIG, 2003). Durante essa época, apenas era conhecida das ondas eletromagnéticas a luz visível, ultravioleta e o infravermelho. Com o avanço da ciência, foi possível a descoberta de outros tipos de ondas eletromagnéticas necessário a criação de espectro para diferenciar das ondas já conhecidas em termos de frequência e comprimento de onda. Esse espectro possui faixas de frequências e comprimento associada os tipos de ondas, pode ser analisada na (figura 8), as variações de frequência de ordem de 10^2 (HALLIDAY, 2012).

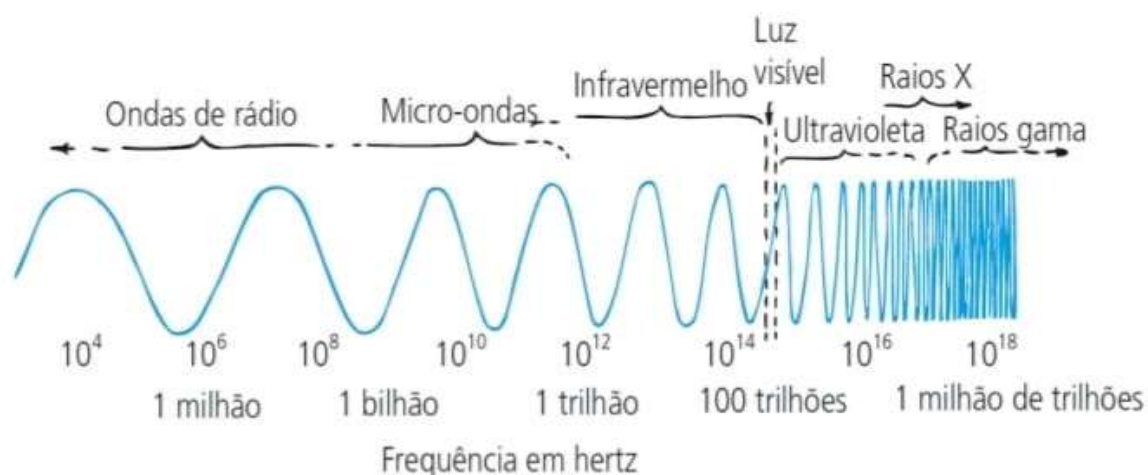


Figura 8: Espectro Eletromagnético. Retirada de Hewitt (2015).

A frequência de uma onda é proporcional a energia transportada, quanto maior a frequência maior será a energia em propagação pela onda. A radiação eletromagnética emitida, propaga-se em forma de pequenos pulsos de energia denominado quantum de energia chamados de fótons, são pacotes de energia capaz de transportar a radiação, com energia quantizada (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A energia de um fóton é representada da seguinte relação

$$E = h\nu \quad (40)$$

Onde, E representa a energia do fóton, h e ν , respectivamente a constante de Planck e a frequência de onda eletromagnética.

A equação (40) representa a menor quantidade de energia associada a uma onda eletromagnética. Um fóton pode ser criado quando um átomo se encontra excitado, com excesso de energia, por sua vez emiti esse excesso em forma de fóton (HALLIDAY, 2012).

3.3.1. RADIAÇÕES IONIZANTES

A característica da radiação ionizante é a capacidade de arrancar elétrons de átomos e moléculas, ao qual esteja ligada por força elétrica entre o núcleo de um átomo e um elétron, em órbita. Quando um elétron é ejetado, o átomo fica ionizado com excesso de prótons, assim forma-se par iônico.

As radiações ionizantes são capazes de arrancar qualquer elétron de um átomo, assim precisará de uma quantidade de energia maior para ejetar os elétrons mais próximos do núcleo (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Os elétrons são distribuídos em inúmeras camadas, e essas camadas comporta diferentes níveis de energia, como o modelo de Bohr explica. Os elétrons mais próximos do núcleo são ligados por forças mais intensas, à medida que se afastam as forças se torna menos intensas. Logo, as partículas capazes de produzir ionização em determinados meios, são elas, partícula alfa, os prótons, os pósitrons e os elétrons, essas partículas possuem energia suficientes para ionização. A radiação gama é a única onda eletromagnética que tem a capacidade de ionizar moléculas e átomos.

As partículas sem cargas, como os fótons e nêutrons, as ionizações ocorrem em séries, produzida pela interação com a matéria. As ondas eletromagnéticas interagem com os átomos do meio, os fótons de raio X e das radiações gama pode perder toda ou metade de sua energia por meio das colisões dos átomos. Os fótons interagem com os elétrons, muitas das vezes não há interação com a matéria.

Radiações ionizantes são aquelas cujo fótons ou partículas produz íons na matéria com a qual interagem, assim provocando alterações na composição ou nos níveis de energia (GARCIA, 2015).

3.3.2. RADIAÇÃO NÃO-IONIZANTES

Este tipo de radiação ocorre que ao interagir com um determinado átomo provoca mudança na órbita de um elétron, mas, retorna ao seu estado normal. A energia é insuficiente para arrancar elétrons de uma camada, apenas causa uma excitação momentânea, com isso também são denominadas radiações excitantes. Exemplo de radiação não ionizantes, podemos dizer o infravermelho, ondas de rádio, ultravioleta, a Tv, etc.

Apesar de transportar pequenas quantidades de energias, podem ocasionar aspectos prejudiciais à saúde como é o caso da radiação ultravioleta (CASTRO JUNIOR, 2008).

3.3.3. INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A MATÉRIA

Uma onda carrega consigo momento e energia. As radiações eletromagnéticas ionizantes como radiação gama e raio X, possuem caráter ondulatório, com ausência de carga essas radiações pode penetrar em um material, mesmo interagindo em materiais com grandes espessuras. As interações pode ocorrer com o átomo, elétrons ou ainda com o núcleo, como também há possibilidade de não interação, a probabilidade de interação nos meios materiais depende muito do valor de energia associada das características do meio e do tipo da radiação (TAUHATA, 2003).

A REM ionizante é tratada como conjunto de partículas denominada fótons, são pacotes de energia e a cada fóton $h\nu$ corresponde um momento associado a $h\nu/c$, diante disso pode ocorrer choques em que fótons transfere energia e momento para outras partículas, então o choque de interação para cada evento que possa ocorrer pode haver absorção ou espalhamento de radiação incidente (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

3.4. OUTROS FENÔMENOS RELACIONADOS

3.4.1. Efeito Fotoelétrico

O estudo do efeito fotoelétrico fornece evidências de que a radiação possui natureza corpuscular quanto interagem com a matéria de natureza ondulatória em sua propagação (EISBERG, 1979).

A observação da existência do efeito fotoelétrico ocorreu pela primeira vez em 1887, quando Hertz realizava experimento envolvendo emissão e detecção de ondas eletromagnéticas, o experimento consistia em gerar ondas através de descargas elétricas entre dois eletrodos metálico, depois do experimento da ocorrência de efeito fotoelétrico, propôs explicação no comportamento ondulatório das radiações (CARUSO, 2016).

O processo desse efeito ocorre quando o fóton é absorvido por átomos e um elétron é liberado para se mover no material. Logo, a energia cinética adquirida no processo é relação da diferença da energia do fóton e da energia de ligação do elétron ao átomo (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

A interação não acontece quando tem elétrons livres porque não pode absorver fóton sem momento a ser conservado. O efeito fotoelétrico é caracterizado pela transferência de energia da radiação X ou gama que, torna ausente a único orbital, expelido como uma energia cinética. A energia cinética (E_c) é representada pela equação (41).

$$E_c = h\nu - E_e \quad (41)$$

Onde energia de ligação do elétron e $h\nu$ é a energia do fóton e E_e energia de ligação do elétron orbital. Partindo para interação com o material pode-se ver na figura 9 a transferência para o material de um detector, para identificar fóton e elétrons removidos.

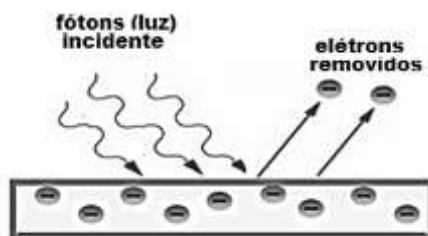


Figura 9: Representação do Efeito fotoelétrico. Adaptado retirado de (www.cesarzen.com/FIS1056Lista4).

Se a radiação incidente não tiver energia suficiente para arrancar elétrons do metal não ocorre o efeito fotoelétrico independente da intensidade luminosa incidente, dessa forma é necessária uma frequência mínima para radiação incidente arrancar elétrons. Quanto maior número de fótons incidentes em uma área mais intensa é a radiação (VALADARES, 1998)

A transferência de energia do elétron ionizante para meio material produz uma ionização secundária proporcional a amplitude de intensidade de corrente no final do processo expressando a energia radiação incidente (YOSHIMURA, 2009). A luz transporta energia e ao interagir com os elétrons do metal cede energia. Com isso os elétrons do material são arrancados originando corrente elétrica, diante da

física clássica a emissão de fotoelétrons a luz incidente é instantânea e a energia cinética dos fótons não depende da intensidade da luz.

3.4.2. Efeito Compton

Esse efeito ocorre de uma transferência parcial de energia do fóton para um elétron com mudanças na trajetória do fóton incidente e redução de boa parte de sua energia (CASTRO JÚNIOR, 2008). Diante da figura 10, trata-se de um espalhamento de fótons com elétrons livres do material de baixa energia de ligação, no processo ocorrerá transferência parte da energia e de momento para o elétron dentro do material com menor energia (OKUNO e YOSHIMURA, 2010). A energia do fóton espalhado, E' depende da energia do fóton incidente e do ângulo de espalhamento. A energia do fóton espalhado é máxima para 0° e mínima de 180° a energia cinética do elétron ejetado é máxima.

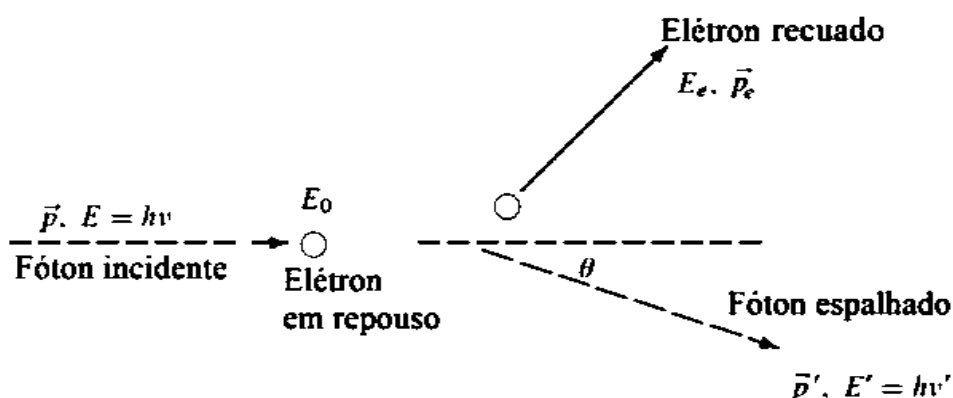


Figura 10: Efeito Compton: Um fóton com energia $h\nu$ e momento $\vec{p}$, colide com um elétrons livre Após a colisão o fóton é espalhado. Adaptado de Zettili (2009).

O Físico Americano Holly Arthur Compton confirmou em 1922 a proposta de Einstein, em 1916 sobre o fóton possuir energia e momento, confirmando a natureza corpuscular da radiação eletromagnética (CARUSO, 2016). O experimento realizado por Compton consiste na incidência de um feixe de raios X com comprimento de onda no alvo de grafite, a intensidade dos raios X espalhados foram medidos em função do comprimento de onda e dos ângulos de espalhamento, Compton observou que o espalhamento variava em decorrência do ângulo obtido. Os feixe incidentes constituídos de comprimento de onda (λ), os raios espalhados possuíam comprimento idêntico ao incidente e um outro λ' menor que a variação da

quantidade de comprimento, isso contradizia a teoria eletromagnética. Segundo YOUNG e FRIEDMAN (2008), uma onda espalhada possui sempre comprimento de onda da luz incidente, no caso clássico deveria ocorrer isso.

O experimento de Compton consiste em uma colisão de fótons com elétrons livres, elétrons da última camada eletrônica que é considerado como livres e possui ligação fraca ao núcleo, os elétrons que é ejetado adquire energia cinética devida a colisão elástica (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

As colisões elásticas clássicas, formalizadas leis que obedece a cinética relativística para manter a conservação do momento descrita pela equação de Broglie $p = \frac{h}{\lambda}$, conservação da energia utiliza-se a equação relativística representada por $E^2 = p^2 c^2 + m_e^2 c^4$, esta equação é necessária uma vez que fóton tem velocidade da luz, assim sempre deve ser associado a fenômenos relativísticos e o elétron do evento colidido pode ser tratado do mesmo fator (EISBERG, 1979).

A figura 10, representa o fóton e o elétron antes da colisão e respectivamente depois da colisão fornece parte de sua energia, e momento para o elétron que recua devido ao impacto. Depois da colisão, a energia resultante fica como novo fóton espalhado, sendo que parte da energia e frequência é menor, e um maior comprimento de onda, o evento segue pela representação abaixo

$$\gamma + e \rightarrow \gamma' + e' \quad (42)$$

Usando a conservação do momento e da energia, chega-se a equação de Compton, representada por.

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (43)$$

Essa equação 43, observe que a variação do comprimento de onda depende unicamente do ângulo do espalhamento do fóton e não do comprimento da onda inicial e nem do material. É importante destacar que no efeito Compton, o fóton incidente ioniza o átomo no processo, ejetando elétrons de fraca ligação com o núcleo, satisfazendo assim o espalhamento, e não absorção parcial de energia durante a colisão.

Substituindo os valores das constantes na equação, a variação do comprimento de onda assume valores para o ângulo de 0° a $0 \text{ \AA}$ e 180° a $0,049 \text{ \AA}$.

Diante de (EISBERG,1979) o valor inicial acontece quando o fóton incidente não é desviado, já quando acontece a variação do ângulo, ocorre a colisão entre o fóton e o elétron de frente e com isso o fóton inverte o sentido de seu movimento.

3.4.3. Produção de Pares

É um fenômeno que acontece quando os fótons se transformam na matéria durante a interação, isso ocorre somente para fótons de raios X de alta energia e radiação gama, o efeito é resultado da interação entre o fóton e o campo elétrico (YOSHIMURA, 2009). A formação de pares ocorre quando um fóton de energia mínima de 1,022 MeV colide com um núcleo, assim cedendo toda sua energia para o núcleo e assim originando um par de partículas, sendo estes, elétron-pósitron. O Pósitron, é uma partícula descoberta depois do elétron, de fato ser uma antipartícula importante e é considerada um elétron com carga positiva (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

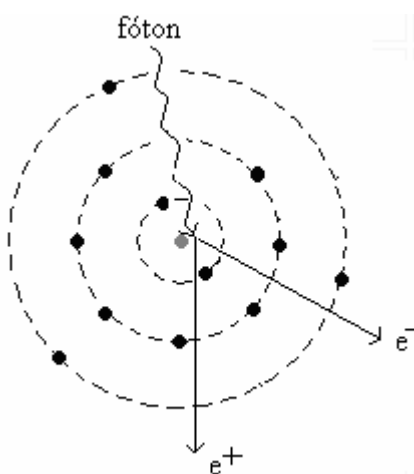


Figura 11: Diagrama do fenômeno da formação de pares. Retirada (EISBERG,1979)

A interação de fóton no núcleo causa um recuo muito pequeno na colisão, e toda a energia que incide no núcleo se distribui igualmente no par de elétron-pósitron gerado, conforme a demonstração na figura 11. Devido a interação colombiana entre as partículas carregadas e o núcleo, o pósitron acaba se repelindo pelo núcleo, devido a força colombiana repulsora e o elétron acaba sendo causado pela força atrativa e assim obtém uma pequena diferença de energia entre os pares formados. Ao interagir com campo nuclear ocorre essa mudança que converte a energia do fóton em massa de acordo com $E = mc^2$, o fóton não possuem massa,

mas o pósitron e elétron possuem, então o processo na proximidade do núcleo pode ser representado da seguinte forma

$$\gamma + X \rightarrow e^{-} + e^{+} + X^{*} \quad (44)$$

Onde X e X^{*} representam o estado fundamental e estado excitado do núcleo, respectivamente, como a energia é convertida em duas partículas, o fóton deve ter uma energia equivalente a soma das massas das duas partículas.

$$E_{min} \geq 2m_0c^2 \quad (45)$$

Logo, a criação de pares resume na conversão de energia do fóton em massa de repouso e energia cinética em um par de elétron e uma antipartícula, também o núcleo atômico participa da conservação do momento, assim a produção só ocorre se a energia do fóton for maior que, $2m_0c^2$ que vale 1,022 MeV (OKUNO, 2013).

A descoberta desse fenômeno ocorreu em 1933, durante pesquisas de radiação cósmicas, e assim veio para solucionar problemas relacionado a absorção dos raios X e atenuação das matérias conforme a interação de energia no núcleo. (EISBERG,1979).

4. DIVERSAS APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Na era da informação em que vivemos, quase todas as tecnologias existentes que são utilizadas no dia a dia, são baseadas na física de ondas eletromagnéticas. Estamos totalmente conectados seja por acesso a televisão, telefones celulares, a internet, são imersos das ondas eletromagnéticas. O sol é uma fonte predominante, na qual nos adaptamos como espécie, essa radiação é a que define nosso meio ambiente, é uma radiação importante para os seres vivos, para as plantas, também obtemos ondas eletromagnéticas proveniente de lâmpadas, dos motores de automóveis, radares, etc. (HALLIDAY, 2012).

Em meados do século XIX, Maxwell, tinha detectados as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas, a luz visível, raios infravermelhos e ultravioletas, de acordo com as inspirações teóricas de Heinrich Hertz, pode-se compreender que

hoje chamamos de ondas de rádio, são ondas que se propaga com a mesma velocidade da luz visível (HALLIDAY, 2012).

A energia eletromagnética é ordenada continuamente em função do comprimento de onda e da frequência e essa organização é denominada de espectro eletromagnético. São subdivisões com características próprias do processo físico, do tipo de interação da radiação de propagação (FIGUEREDO, 2005).

As ondas eletromagnéticas podem ser ditas como pacotes de energia (Fótons) que podem ter diversas frequências de vibração, perturbação oscilante de grandeza física no espaço e periódica em intervalo de tempo, caracterizada por comprimento de onda e pela frequência que é resultante da liberação de fonte de energia magnética e elétrica (SCHIRMER, 2015).

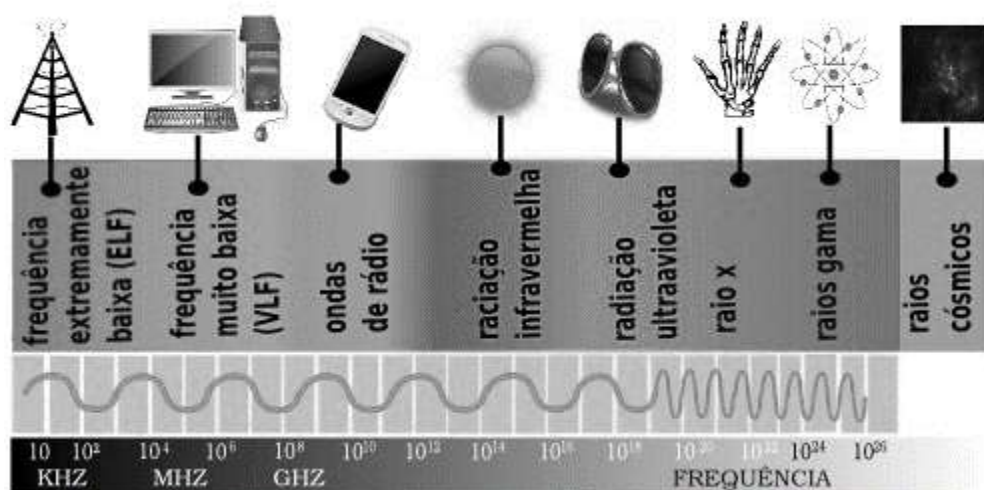


Figura 12: Ilustração esquemática dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas conhecidas que constituem o espectro eletromagnético.

Fonte: (<http://www.astronoo.com/pt/artigos/espectro-eletromagnetico.html>)

O uso do espectro eletromagnético tem se tornado muito intenso, decorrente da crescente demanda por serviços de telecomunicações e diversas tecnologias determinada por faixa de frequências conforme a figura 12 (SCHIRMER, 2015). Podemos obter ondas de qualquer frequência idênticas da sua natureza, diferenciando apenas pelo modo de captação de frequência, como a frequência da TV pode coincidir com a frequência de rádio FM.

Segundo (NOVO, 1989), apresenta descrição de cada faixa do espectro eletromagnético, as características das principais radiações.

4.1. AS ONDAS DE RÁDIO

As ondas de rádio, são geradas pelo movimento oscilatório de elétrons ou partículas carregadas que orbitam campo magnético, são usados para comunicações. Essa comunicação por onda eletromagnética de rádio se dá a partir de propagação por uma antena transmissora e sua posterior captação por uma antena receptora (PENTEADO e TORRES, 2005). É uma onda de frequência muito pequena, acima dos raios infravermelhos. São geradas por osciladores eletrônicos instalados em uma região de maior probabilidade de atingir várias regiões, por meio de torres.

A antena sintonizada a um receptor de rádio é ideal para captar sinal. Alguns tipos de ondas de rádio podem-se ser encontrados nos controles remoto, sistemas de alarme sempre em torno de 40 mega-hertz, nos telefones celulares, radar de controle aéreo e de navio, os canais de TV. São ondas que trazem para nosso dia a dia o conforto e informações do mundo todo através de sinais para os aparelhos de rádio, TV e telefones celulares, essas ondas de rádio não causa efeitos sobre a matéria e nem no corpo humano, isso dependerá da intensidade utilizada (CASTRO JÚNIOR, 2008).

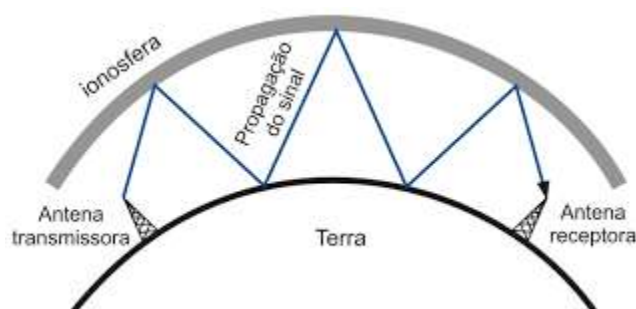


Figura 13: Representação da onda de rádio no processo de transmissão de informação. Fonte:

(<https://www.todoestudo.com.br/geografia/ionosfera>).

As Ondas de Rádio, tem grande comprimento de onda, na qual permite que elas sejam refletidas pela camada ionizada da atmosfera, conforme a figura 13, com a capacidade de contornar os obstáculos e possuem flexibilidade do fácil acesso para captar o sinal ao aparelho receptor. Todas as antenas funcionam segundo o mesmo princípio: a corrente na antena criar um campo eletromagnético que deixa a

antena e se propaga sob a forma de uma onda eletromagnética (PELLEGRINI, 2010).

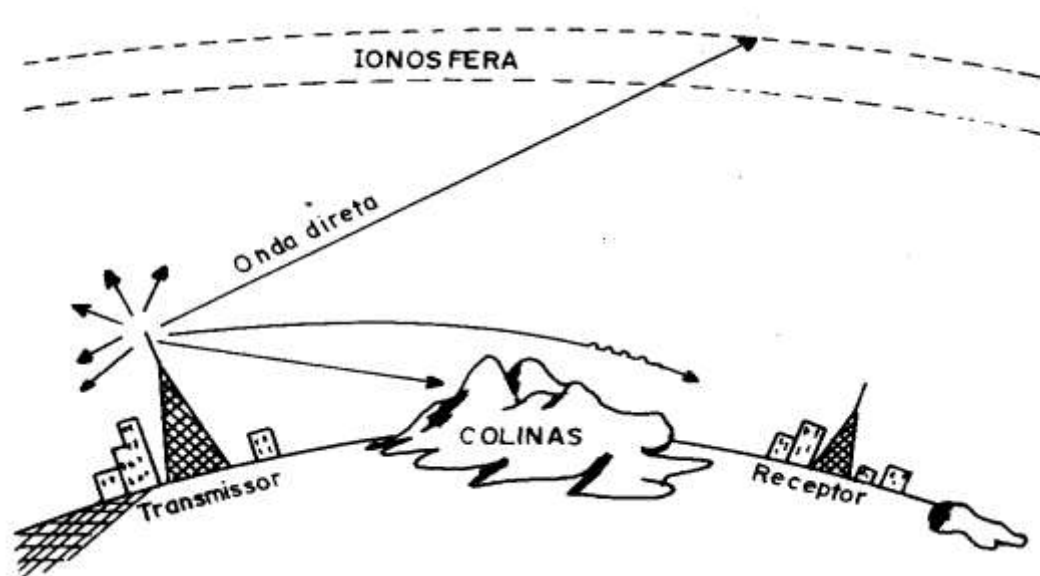


Figura 14: Representação de ondas de rádio para captação de sinais de TV. Fonte: [\(http://www.direcaolivree.com/propagacao-de-ondas-de-frequencias-muito-altas-vhf/\)](http://www.direcaolivree.com/propagacao-de-ondas-de-frequencias-muito-altas-vhf/)

Nas emissões de TV, conforme a figura 14 não são refletidas e para ser captada as ondas precisa de uma estação de recepção. As antenas são dispositivos destinados para transmitir e receber ondas, esses sinais são convertidos em sinais elétricos, depois em ondas eletromagnéticas, quando ligadas ao receptor captam essas ondas e as convertem sinais que são amplificados e decodificados pelos aparelhos que recebe. O processo de Oscilação que a antena de transmissão recebe é a corrente que produz ondas eletromagnéticas irradiadas pelo ar. Uma das características das ondas de rádios é que não perceptíveis aos sentidos, exceto pelos efeitos aplicados ao corpo humano com maior intensidade (PELLEGRINI, 2010).

4.2. RADIAÇÃO MICRO-ONDAS

É onda eletromagnéticas que são geradas em válvulas eletrônicas especiais de alta frequência produzidas por osciladores eletrônicos, onde não precisa de um meio para se propagar. A radiação pode ser descrita como fluxo de pacote de energia, (fótons). Os fótons de micro-ondas, possui pouco mais de energia, do que as ondas de rádio. Essa radiação é utilizada nas telecomunicações, em ligações de

telefone e programas de TV via satélite, também são utilizadas para aquecer alimentos nos fornos micro-ondas, são ondas curtas e de alta frequência, faz com que permite uma boa condução na propagação (EISBERG, 1979). Também é encontrada no funcionamento do radar, uma fonte emite radiação para atingir um objeto alvo, esse objeto recebe a onda e reflete voltando para o local de partida, de acordo com a direção que a radiação é refletida, pode ser descoberta a localização do objeto em estudo, a figura 15, representa a característica da transmissão.

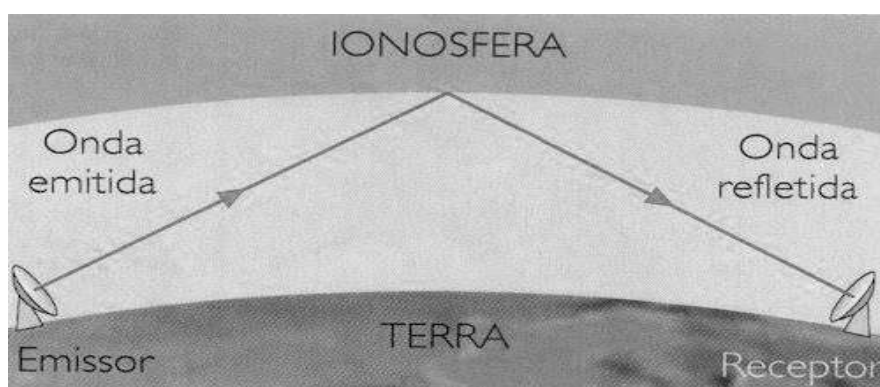


Figura 15: Representação de transmissão com ondas de micro-ondas. Fonte: <https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/ondas-de-radio-fm-e-tv>).

4.3. RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

Este tipo de radiação é originado através de agitação térmica das partículas que constituem os corpos. Devido a essa agitação, as cargas elétricas das moléculas e átomos oscilam e na medida que oscila emitem radiação eletromagnética, associada a temperatura. Observe a figura 16, representada por uma mão de um fumante e não fumante (PENTEADO E TORRES, p.126, 2005). Não é uma radiação ionizante quando invisível no espectro, possui comprimentos de ondas longo e pequeno e frequência superiores a 1.000.000 mega-hertz. Podemos analisar essas ondas emitidas por meio da interação do calor, como por exemplo no ferro de passar roupa, em bluetooth, controle remoto, em aquecedores, câmeras sensíveis ao infravermelho, pode encontrar em mouses e até mesmo as ondas que são irradiadas pelo sol como ondas luminosas (BRIOSCHI, 2007). Para transmitir informações também pode ser utilizado através de fibra óptica, que funciona como

passagem de luz em forma de laser por dentro do cabo assim havendo reflexão total.



Figura 16: Fotografias térmicas. (16A) Não fumante; (16B) fumante. Retirada e Penteado e Torres (2005)

4.4. RAIÓ (γ)

O Raio (γ), é uma radiação que possui frequência de onda muito alta e comprimento de onda muito pequeno. Essas frequências são emitidas por elementos radioativos. Este tipo de radiação é utilizado no tratamento de câncer, na radioterapia que consiste em eliminar as células cancerígenas e evitar sua proliferação, o tratamento consiste na aplicação de doses elevadas de radiação, com fins de matar as células que causa danos aos tecidos próximos. Os irradiadores denominados de bombas de Co-60, possuem fonte radioativa de alta energia, revestida de blindagem e com uma janela de feixe colimado, equipamento próprio para ser portador de fonte de alta radioatividade, constituída de pastilhas metálicas insolúveis de alta resistência mecânica, após a retirada de obturador a fonte é colocada próximas aos área afetada, por meio de aplicadores durante cada sessão de tratamento, a vantagem é afetar fortemente o tumor, devido à proximidade da fonte radioativa e danificar menos os tecidos e órgão próximos (CARDOSO, 2003). Deve ser operado em salas especiais, dotadas de dispositivo de segurança para os pacientes, pois sofre danos orgânicos e por isso ficam debilitados, são acompanhados por terapeutas, psicólogos para apoio da medicação que recebem.

Os raios gama também são aplicados nas indústrias, nos processos de esterilização de seringas descartáveis, material cirúrgicos são utilizados feixes intensos de radiação gama de alta energia, no processo de aplicações nas elevadas caixas e containers, cheio dos materiais que passam durante um intervalo de tempo,

nas esteiras transportadora. A fonte é constituída de varetas de aço inox, semelhante a um secador de roupa, contendo pastilhas empilhadas de Co-60 metálico, o sistema é controlado por área blindada devido o teor da fonte radioativa. Utilizado também na agricultura, dependendo da dose aplicada inibi a brotação de batata, cebola (bulbos), destroem micróbios de carnes, mata e esteriliza insetos em cereais, farinhas, frutos. Devido ao seu nível energético, os profissionais que têm contato com raios gama devem adotar métodos especiais de proteção, por meio de equipamentos de blindagem, assim, assegurar e garantir a segurança das pessoas em contato (TAUHATA, 2003).

A exposição prolongada pode causar alterações como dores abdominais, vômito, náuseas, aparecimento de lesões no corpo, como afetar células que dificulta a divisão do material genético, anemia, insuficiência respiratória aguda, dependendo do tempo de exposição à radiação (VELUDO, 2011). Para pessoas que faz tratamento de câncer, os efeitos colaterais dependem muito da região que é irradiada, podendo incluir irritação da pele, vermelhidão, perda de cabelo, fadiga, reações cutâneas, dor abdominal, náuseas, vômitos, diarreia, alterações do paladar e boca seca, também alteração nas unhas, feridas na boca, infecção devido a diminuição dos globos brancos. A maioria dos efeitos colaterais da radioterapia desaparece com o término do tratamento.

5. APLICAÇÕES DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM EXAMES DE IMAGEM

As ondas eletromagnéticas fazem parte de nossa vivência na natureza, todas as coisas ao nosso redor são imersas dessas ondas. Outras aplicações que estão inseridas na área da medicina, auxiliando nas descobertas de doenças como também ajudar em recuperação de diversos casos de diagnósticos. Segue alguns exemplos de exames de imagem, que aborda características dessas ondas eletromagnéticas, através do aperfeiçoamento tecnológico e de pesquisa.

5.1. RAO X

O Raio X é um tipo de radiação eletromagnética com frequência maiores do que a radiação ultravioleta. Esses raios são produzidos por feixes de elétrons dotados de energia. A energia cinética dos feixes de elétrons incidente parte se transforma em energia eletromagnética. Esta Radiação são usadas em exames de imagens na medicina, para diagnósticos e tratamento de doenças. A principal característica desse tipo de ondas é capacidade de atravessar tecidos, couros, madeiras e boa parte dos metais (OKUNO e YOSHMURA, 2010).

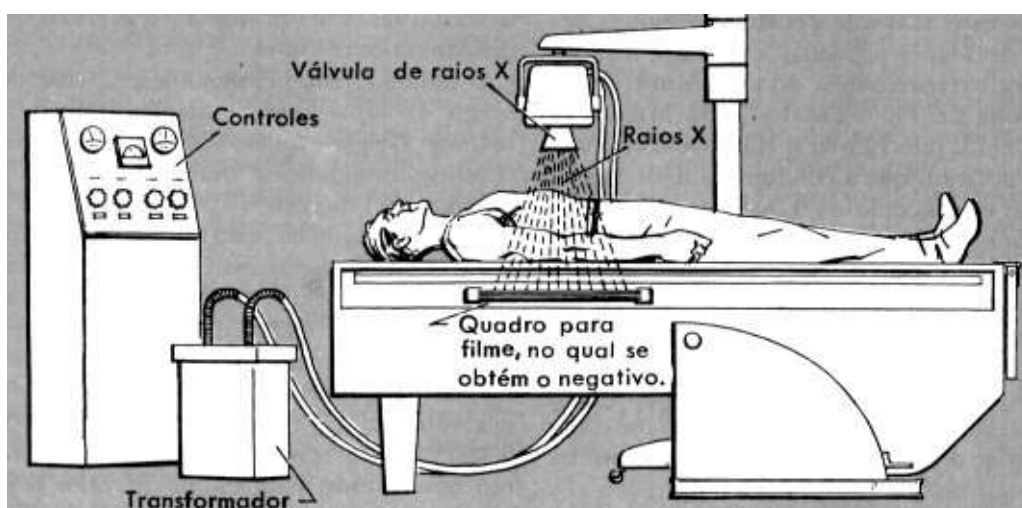


Figura 17: Representação do raio X em exames.

Fonte: (<https://helioprint.com.br/blog/radiologia-digital/>)

A representação da figura 17, o equipamento funciona como uma máquina fotográfica, existe uma espécie de flash que emite luz invisível de alta energia, capaz de atravessar o corpo, a única dificuldade da passagem do raio são os ossos que aparece branco nos exames, muito usados por médicos ortopedistas para cuidar de doenças ou algumas alterações nos ossos.

Os raios X são produzidos quando elétrons muito energéticos interagem com a matéria e convertem energia cinética em radiação Eletromagnética. Esta conversão pode ser realizada dentro de dispositivos chamados tubos (ou ampolas) de Raios X. Os tubos contêm um cátodo (liberador de elétrons) e um ânodo (alvo dos elétrons) no vácuo, e uma fonte de energia elétrica externa para acelerar os elétrons do cátodo em direção ao ânodo. Uma melhor eficiência na produção de raio

X é alcançada ao se utilizar substâncias com número atômico elevado, como o molibdênio e o tungstênio, devido a alto ponto de fusão, assim suporta o alto depósito de calor sem causar danos ao material (LOUREIRO, 2011).

Em 1912, Max Von Laue físico alemão (1879-1960), estabeleceu que os raios X eram ondas eletromagnéticas de comprimento de onda muito menor que a luz visível, portanto mais energético. Para ter essa conclusão ele utilizou um cristal de sulfeto de zinco, como rede de difração em um experimento de difração de raios X (BLEICHEIR e SASAKI, 2000).

Na figura 18, é mostrado um esquema representativo de um tubo de Raio X. Os feixes de elétrons são gerados por uma emissão termiônica em um filamento aquecido, esse filamento tem formato de espiral, e ao final do processo de aquecimento originam-se nuvens eletrônicas. A emissão de raio X ocorre sempre quando o tubo for ligado a uma corrente elétrica de alta tensão. A energia dos raios e seu poder de penetração terão aumentos proporcionais ao da tensão aplicada nos terminais do tubo (TAUHATA, 2013).

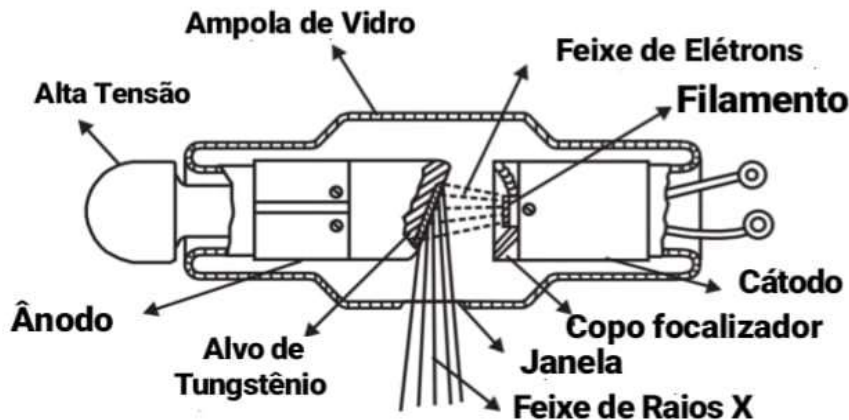


Figura 18: Esquema tubo de raios X. Retirada de (TAUHATA, 2013).

A produção de raios X acontece em dois processos diferentes, um conhecido por freamento e o outro chamado de característicos. Nos Raios X de freamento, a produção de raios X acontece quando os elétrons incidentes interagem com o campo elétrico do núcleo de número atômico elevado, elas reduzem a energia cinética mudando de direção sob ondas eletromagnéticas (MEDEIROS, 2011). Quando elétron de energia inicial sofre desaceleração brusca ao interagir com o núcleo de um átomo perde sua energia variação de energia cinética, que é convertida em fóton de raio X, como detalha na figura 19.

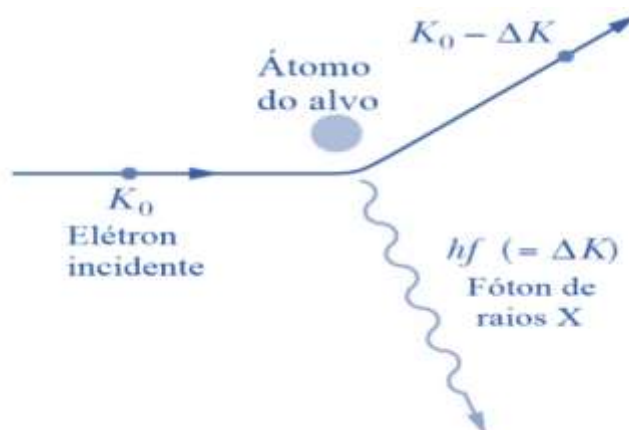


Figura 19: Fóton de raios X gerado quando a energia cinética passa próximo de um átomo. Retirada de HALLIDAY e RESNICK (2012).

Os fótons de raio X produzidos pode haver qualquer energia, dependendo apenas do grau de aproximação do elétron com o núcleo e a energia incidente. Esse método de produção da origem a um espectro contínuo, com valores próximos até valor máximo de energia, do elétron ao atingir o alvo, representado por

$$K_0 = eV = E_{Máx} = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{Min}} \quad (46)$$

Onde, e representa a carga do elétron e V a diferença de potencial aplicada entre o cátodo e ânodo e a frequência e o comprimento da onda da radiação é enfatizado por ν e λ . A energia não depende do tipo de material que é feito, apenas da diferença de potencial adquirido no processo de geração de fótons (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

Os Raios X característicos, são produzidos quando um feixe de elétrons incidente colide com uns outros elétrons do objeto e tira da órbita, e se a energia do elétron incidente for suficiente para arrancar o elétron do átomo, é representado por uma lacuna, que imediatamente será preenchida por um elétron da camada mais energética isso acontecer parte de sua energia terá que ser dissipada (TAUHATA, 2013).

A emissão de raio X dependerá das características do material, e nesse processo terão sempre valores fixos. No tubo de raios X, os fótons constituem espectro de linhas ou raias da mesma forma que os fótons emitidos por elétrons de valência dos átomos que decaem de níveis de energia de maior para menor estado de energia (OKUNO e YOSHIMURA, 2010).

O primeiro aparelho de raio X chegou no Brasil foi em Minas Gerais, na cidade Formigas, onde o médico Jose Carlos Ferreira Pires produziu as primeiras radiografias de diagnostico nos pais e a primeira radiografia brasileira feita foi na mão do ministro Lauro Muller, logo a educação radiológica brasileira iniciou em julho de 1916 com curso ministrado por professor Roberto Duque Estrada (FRANCISCO *et.al.* 2006).

5.1.2. ATENUAÇÃO DE RAIOS X E FORMAÇÃO DE IMAGENS

A Atenuação significa diminuir a intensidade de uma radiação quando incide na matéria, pode absorção ou espalhamento dessa radiação. Atenuação dos raios X constitui a base para a formação de imagem radiográfica das partes internas do corpo, com o princípio de absorção de fótons de raios X que atravessam as estruturas mais densas do corpo, de acordo com as diferenças de absorção por diversas partes (OKUNO, 2010). Podemos dizer que a radiografia é formada a partir da atenuação de forma diferenciada das partes anatômicas de um paciente (FURQUIM, 2009). A radiação X que atravessa os tecidos moles, menos absorvedores chega com mais facilidade no filme radiográfico, do que as parte como ossos, a imagem é formada a partir de contraste gerado pela atenuação das distintas regiões em análise.

Os elementos químicos com alto número atômico são os melhores absorvedores de raios X. Os ossos por ser constituídos por cálcio com número atômico de ($Z = 20$), assim verifica a imagem melhor, do que as partes do corpo formada por Hidrogênio $Z = 1$, Oxigênio $Z = 8$, Carbono $Z = 6$, caso dos músculos, sangue, gordura e tumores. Para visualizar eficientemente, alguma anomalia no corpo é necessário usar substância com número atômico elevado, para obter contraste na imagem como composto de Bário $Z = 56$, antes do exame radiográfico, esse elemento absorve melhor os raios do que os tecidos moles.

A formação de imagem radiográfica relaciona o processo na qual, um feixe de raios X que interage com região de interesse, formando uma imagem de acordo com atenuação da parte da região, a imagem é obtida por um detector de raios X que pode ser um filme radiológico, no ânodo do método convencional ou placas de

fósforo (flúor Brometo de bário) em radiografia computadorizada, depois a imagem é avaliada e armazenada em um arquivo digital.

O aparelho de raio X, apresenta dois pontos focais com tamanhos diferentes, um foco fino que varia de (0,3 a 1,0 mm) e uma maior denominada de foco grosso de (1,0 a 30 mm). Quando filamento menor é aquecido, forma uma nuvem de elétrons em sua volta sendo atraídos pelo ânodo, formando área menor e com menor espessura do feixe eletrônico tornando mais compacto e isso um maior número de raios X serão atenuados, então o foco fino apresenta característica para obter imagem aprofundada e detalhada, por outro lado o foco grosso deixa a desejar os detalhes da imagem em análise (CASTRO JÚNIOR, 2008). O foco grosso é usado para radiografia de órgão que possuem movimentos involuntários, como por exemplo coração, vasos sanguíneos, dentre outros, usa-se baixa corrente elétrica, o metal de filamento não fica em estado de fusão, e o foco fino é usado para detectar órgãos que não possuem movimentos involuntários como os ossos. Os focos usados são selecionados no painel de controle chamado de comutador de foco, exibe sinais característicos usados por letra F e G respectivamente representado por foco fino e foco grosso (HAMANN, 2016).

5.1.3.TIPOS DE RADIOGRAFIA

Existe três tipos de radiografia, a convencional, computadorizada e digital, são métodos de exame de diagnóstico de imagem que usam aparelho de raios X, a diferença está no processo de aquisição e processamento de imagem (OKUNO, 2010). Os tubos de raio X são cobertos por material denso tipo uma carapaça feita de chumbo, para bloquear a radiação que se propagam em direções indesejadas, deixando apenas uma janela por onde os raios X devem passar.

Os primeiros aparelhos de raio X só continha o tubo, com passar do tempo foram ganhando componentes que tornaram as imagens mais eficientes e a diminuição do tempo de exposição. As salas para realizar esses tipos de exames devem ser padronizadas para que facilitem o processo de obtenção de imagem sem comprometimento a segurança dos pacientes.

5.1.3.1. Radiografia Convencional

Nesse exame há o contato do filme, que são sensíveis a luz e do écran intensificador, com finalidade de sensibilizar os cristais do filme, que transforma a energia dos raios X em energia luminosa. Após isso, o filme exposto a radiação é submetido ao processamento químico (fixação, lavagem e secagem) no local chamado de câmara escura, para transformar a imagem visível. O procedimento de formação de imagem começa com a incidência de raios X na região a ser examinada, sendo assim, a última etapa é registro da imagem desejada em material apto de radiação. O elemento sensor, que é o filme radiográfico fica posicionada atrás do paciente, dentro de um local chamado de chassi colocado em uma gaveta acoplado no bucky mesa. A desvantagem deste tipo de exame é a impossibilidade de modificação da imagem e o tempo para obtenção do resultado.

O aparelho de raio X convencional tem seguintes componentes, com base a figura 20, temos:

- Tubo ou ampola de raio X;
- Colimador: Componente capaz de produzir campo irradiado quadrado ou regula o tamanho, permitindo a localização exata da área a ser irradiada.
- Bucky mural ou estativa e Bucky mesa: é o local adequado onde paciente recebe a radiação na região a ser examinada. O Bucky mural estrutura retangular onde paciente se posiciona, para obter imagem na posição ereta. E o Bucky mesa estrutura horizontal, realizar exames em decúbito (deitado).
- Console de operação: Um painel de controle técnico de ajuste dos fatores de exposição na hora do exame radiográfico, fica em sala blindada da radiação.
- Grade difusora: É parte da máquina usada para filtrar a radiação dispersa, composta por finas lâminas de chumbo, separadas por material radio transparente leve como fibra de carbono, localizada entre o paciente e o receptor da imagem.
- Chassi: É um compartimento onde são acoplados o filme e o écran, usado como suporte do filme radiográfico, onde permite a entrada dos raios X.
- Écran (telas intensificadoras): Importantes para absorção de raios X incidentes e os transformam em luz visível, constituído por fósforo material luminescente. Na qual apresenta apenas fluorescência.

- Filme radiográfico: Tem dimensões padronizadas e sua estrutura composta por camada protetora, película usada para proteger a gelatina presente na emulsão evitando desgastes ao atrito.



Figura 20: Equipamento de Radiografia Convencional. Fonte:

(<http://amantesdaradiologia.blogspot.com/>)

5.1.3.2. Radiografia Computadorizada

Este tipo é semelhante a convencional, onde a imagem é obtida com mesma fonte de raio X. A diferença está na aquisição da imagem, sendo utilizado por receptores ou sensores conectados ao computador e subdivide em direta e indireta.

A Radiografia indireta, o chassi com filme radiográfico é substituído por cassete com placa de fósforo fotoestimulável, os raios X sensibiliza o fósforo dando origem a imagem latente depois a exposição, coloca no cassete em um scanner específico para transformar a imagem latente em sinal digital chamada de leitor da radiografia computadorizada (CR), do inglês *Computerized Radology*. A Vantagem é a redução da dose de exposição da radiação, praticidade do processo, exibição e armazenamento e recuperação da imagem.

A Radiografia Digital Direta, (do inglês *Direct Digital Radiography-Dr*), ocorre no processo de aquisição de imagens radiográfica com auxílio de detectores localizado no Bucky para transformar o sinal analógico em sinal digital. No processo de exposição, a interação da radiação com o material só sensor libera elétrons que

são lidos por série de transistores, produzindo assim, sinal elétrico que é digitalizado e armazenado no computador, logo, as imagens são capturadas através de receptores ou sensores.

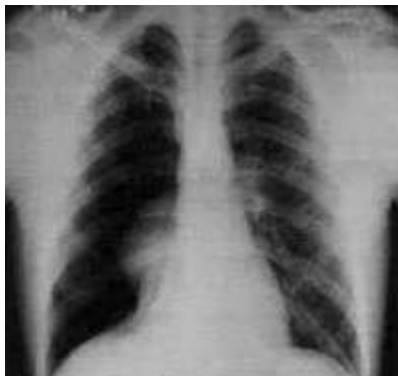


Figura 21: Imagem de um tórax. Retirada de (CASTRO JÚNIOR, 2008).

A radiografia da figura 21, representa os pulmões e a estrutura óssea, os pulmões aparece de cor preta em radiografia consequência do ar e os ossos por ser muito densos exibidos na cor branca (CASTRO JÚNIOR, 2008).

Os efeitos químicos, causado pelas radiações ionizantes, os átomos e moléculas atingidos pela radiação, há variedades de substância e que possuem metabolismo, assim, ocorre a tendência de neutralização gradual dos íons no decorrer do tempo, ou seja a busca do equilíbrio químico. Esta fase físico-química dura cerca de 10^{-10} segundos, e nela os íons e os agentes oxidantes podem atacar moléculas importantes da célula, inclusive as substâncias que compõem os cromossomos (TAUHATA, 2013). A radiografia tem muita importância na medicina por ser utilizados nas análises das condições dos órgãos internos, em caso de fraturas, tratamentos de tumores, câncer, doenças ósseas.

5.2. MAMOGRAFIA

Constitui de um processo radiológico usado para identificar câncer de mama para mulheres cujo sintomas não são aparentes (CHALA e BARROS, 2007). Esse exame deve ser realizado a cada dois anos por mulheres de 50 a 75 anos (ROSA, *et al*, 2016). Diagnóstico precoce é fator muito importante para salvar as mulheres do câncer de mama. A mamografia é a modalidade de imagem mais utilizada (BENNETT, 1999).

A radiação é projetada na parte superior do aparelho através de um tubo, onde um feixe de elétrons é emitido do cátodo, ao modo de emissão termo iônica, a diferença de potencial entre o cátodo (negativo) faz com que os elétrons se afastam e o ânodo (positivo) faz com que atrai elétrons, assim ocasiona choque contra o ponto focal do ânodo. A energia resultante do choque dos elétrons é convertida em calor e pouca parte da energia recebida é convertida em fótons para produção de raio X, como mostra a figura 24, além da representação do aparelho pode-se observar o processador de raio X e na figura 25, a formação da imagem de uma mama.

Os componentes básicos de um mamógrafo diante da figura 23, com as seguintes funções:

1. Cabeçote: É um tubo com os componentes responsável para produção de raios X.
2. Colimador: Responsável para indicar a parte que será irradiada pelos raios X.
3. Compressor: Mecanismo usado para fixar, diminuir a espessura da mama. Função de regulador.
4. Pedais de controle: Responsável para controlar os movimentos do dispositivo de compressão, permitindo que as mãos do médico avaliador esteja de livre para posicionar o paciente.
5. Porta-chassis: É uma estrutura metálica onde é colocado o cassete, onde fica o filme (imagem).
6. AEC (Do inglês Automatic Exposure Control): Componente capaz de regular automaticamente a dose de radiação que incidirá sobre a mama.

Para formação de imagem os raios X são produzidos na parte superior do aparelho e dirigidos a mama, nessa interação com a mama pode atravessar o tecido mamário como também ser absorvido ou desviados, isso dependerá da espessura da mama para obter imagem com êxito. Os raios X que atravessa o tecido mamário são detectados por um filme de imagem (mamografia convencional), e pela placa de fósforo (radiologia computadorizada- CR ou por radiologia digital). A mamografia convencional não é tão precisa na detecção de tumores para mulheres que possui seios muito grandes.

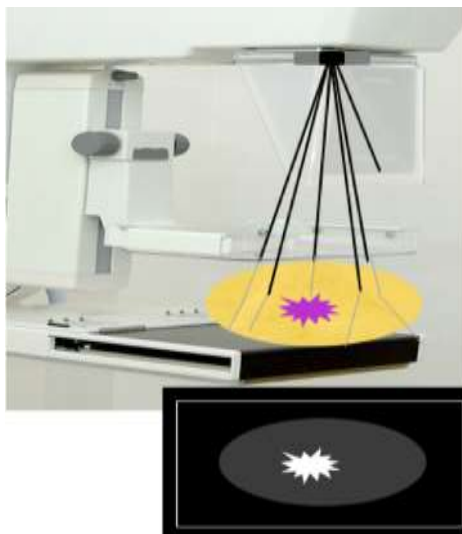


Figura 22: Interação do raio X no tecido mamário. Fonte:

<https://www.fcm.unicamp.br/drpixel/conteudo/bases-fisicas-da-mamografia>

De acordo com a figura 22 pode observar a projeção dos raios X interagindo com o tecido mamário. As informações sobre a imagem da mama as informações obtidas são armazenadas temporariamente na placa de fósforo de cor branca, depois são digitadas e processados para obter imagem com alta resolução e arquivados.

O instrumento usado no exame de mamografia é denominado de mamógrafo. A técnica para a obtenção de imagens do tecido mamário utiliza uma fonte de raio X, entretanto, se diferencia da radiografia convencional por utilizar um elemento químico conhecido como molibdênio. Por meio dessa substância é possível obter a formação de imagem com contrastes visíveis, para diferenciar mama dos outros tecidos próximos. É uma radiografia em que a imagem é produzida para identificar alterações na região da mama, e o nível de radiação ionizante deve ser estabelecido com base a espessura da mama (INCA, 2007; CASTRO, 2008).

Os mamógrafos atuais possibilitam a utilização de filtros de molibdênio e ródio, por exemplo, que modificam o espectro da radiação (BITELLI, 2006). Usando técnicas de baixa tensão para garantir interações fotoelétricas que produzam contraste da imagem desejada, o tubo deve possuir o molibdênio ou ródio para produção de raio X característicos de 15 a 22 keV. As interações em determinadas regiões do corpo dependem da energia de fótons e da densidade do tecido irradiado.

Tabela 1: Propriedades Físicas de elementos que compõem os tecidos.

Meio	Número atômico Z	Densidade g/cm^3	Número de elétrons/kg
Ar	7,6	1,29	$3,01 \cdot 10^{26}$
Água	7,4	1	$3,34 \cdot 10^{26}$
Tecido leve	7,4	1	$3,36 \cdot 10^{26}$
Gordura	5,6 a 6,3	0,93	3,34 a $3,48 \cdot 10^{26}$
Osso	11,6 a 13,8	1,65 a 1,85	3,00 a $3,19 \cdot 10^{26}$

Fonte: BITELLI (2006).

Conforme a tabela 1, relaciona o meio e a densidade dos tecidos no processo de absorção. As densidades do tecido adiposo refletem a diferença de absorção e espalhamento dos fótons que na qual depende da energia dos feixes de raio X.

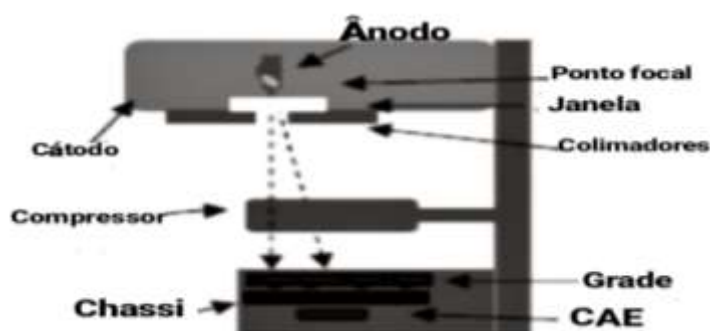


Figura 23: Aparelho Mamógrafo convencional. Retirada Vieira *et.al* (2008)

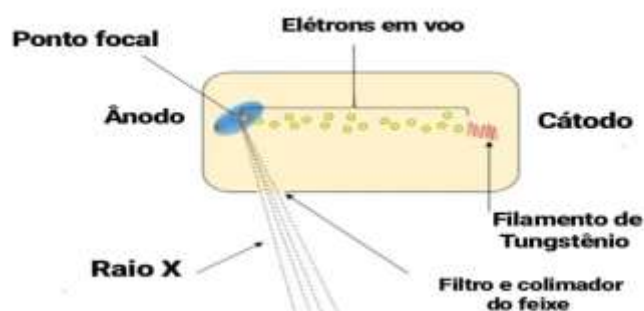


Figura 24: Produção de raio X. Fonte: (<https://www.fcm.unicamp.br/drpixel/conteudo/bases-fisicas-da-mamografia>)

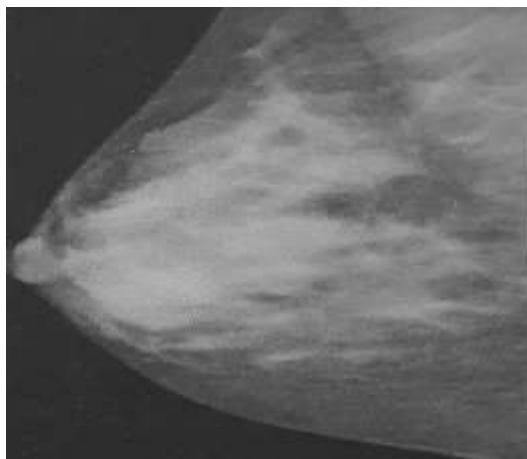


Figura 25: Radiografia Mamográfica. Imagem retirada de Freitas *et.al* (2006).

5.3. TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

A Tomografia computadorizada foi desenvolvida por Godfrey Newbold Hounsfield, engenheiro eletricista britânico e o físico e matemático Sul-Africano Allan McLeod Cormack. Adotada como exame de diagnóstico por imagem, é um método que possibilita visualização das estruturas internas do corpo humano, sobre o efeito de raios X (CARVALHO, 2007).

O Princípio desta técnica é a capacidade de realizar cortes axiais por meio de rotação do todo de raio X, em torno da pessoa. Para obter dados de atenuação de feixe de radiação que na qual é convertido em dados e processados por computador que analisa as variações de absorção dos feixes ao longo da secção observada e reconstrói esses dados em forma de imagem (BIASOLI, 2016). A obtenção da imagem é feita por algoritmos matemáticos através da transformada de Radon, desenvolvida por um austríaco Johann Karl August Radon, na qual demonstrou que era possível ter uma função com duas dimensões a partir de uma infinidade de projeções (BIASOLI, 2016).

O desenvolvimento desse método diagnóstico foi precedido por um sistema experimental criado em 1961 pelo neurologista norte americano Willian Henry Oldendorf (1925-1992), com o objetivo de visualizar as partes internas do cérebro com base da reconstrução matemática das variações de densidades. É um diagnóstico que se utiliza feixes muito finos de raio X e computadores para o processamento de imagens detalhadas dos segmentos corporais. O equipamento é

um tomógrafo do corpo inteiro de altíssima resolução e capacitado para exploração de rotina em segundos. O sistema é apto para operar de acordo com as características de reconstrução e demonstração de imagens, aliado isso com uma ótima resolução de imagem (CARVALHO, 2007).

A obtenção de imagem da tomografia computadorizada é similar ao raio X, um feixe de radiação é fino e contínuo permite a criação de uma série de imagens e em diferentes ângulos com visões dos órgãos e corpo moles. Os ângulos de incidência são enviados ao captador, responsável para calcular a sobreposição de imagens geradas em tons cinzas pré-determinados de cada região do corpo. Com a injeção de substâncias por via intravenosa os tecidos absorvem essa substância e assim se obtém um maior contraste dos tecidos do corpo (CARVALHO, 2007).

O aparelho de tomografia na figura 26, é composto por uma mesa para execução do exame, constituído de um portal (Gantry) que é um tubo de raio X e os detectores dispostos em posição oposta, os colimadores e filtros. O Gantry é um eletromecânico complexo, com mobilidade angular superior e anterior, possui um orifício no centro (pequeno túnel) onde o paciente passa para execução do exame.



Figura 26: Portal(gantry) e a mesa de exame de aparelho de tomografia computadorizada. Retirada de (BIASOLI, 2016).

O ponto central do orifício é denominado baricentro, e esse equipamento é dividido em parte interna e externa. A parte interna na figura 27, se encontra o tubo de raio X, detectores, os colimadores os transformadores de alta voltagem, cátodo, ânodo e o sistema de dados e de refrigeração.



Figura 27: Parte interna do Gantry de um aparelho de tomografia computadorizada. Retirada de (BIASOLI, 2016).

A parte externa do equipamento, é a composição da mesa de exames, na face do aparelho encontra o painel de identificação o controle da máquina e o posicionamento do laser, conforme a figura 26. O tubo de raio X do aparelho conforme a figura 28 é composta por cátodo que por vez trata de emissões de elétrons, constituído por dois filamentos de diferentes tamanhos e um ânodo principal para o choque dos elétrons para produção de raio X. O tubo tem revestimento metálico e imerso em óleo de isolamento e refrigeração. O calor gerado no tubo para realizar exames é muito elevado, então, esse tubo deve ter alta capacidade calorífica para suportar altas temperaturas e capacidade para suportar a grande quantidade de dissipação de calor. O sistema de refrigeração do tubo é realizado por circulação forçada de líquido refrigerante e por um radiador.

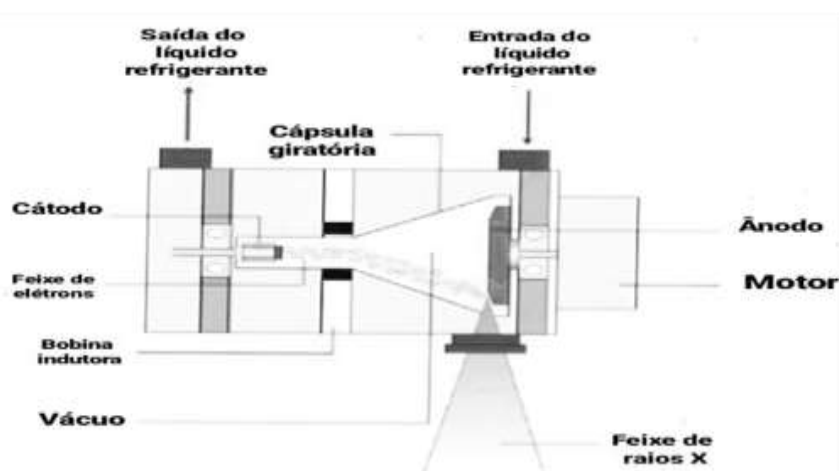


Figura 28: Esquema de um tubo de raio X de foco flutuante em aparelho de tomografia. Retirada de (BIASOLI, 2016).

Tubo de floco flutuante, tem modelo diferente do tubo de raio X, o feixe de elétrons oriundo de cátodo é movido nas duas diferentes posições direção do ânodo por meio de campo magnético produzido por bobinas.

A função dos detectores, converter os feixes de radiação depois da interação com a pessoa em cargas elétricas, deve obter alta eficiência na transformação da radiação em sinais elétricos para possibilitar a diminuição da dose sobre a pessoa e ao equipamento, deve ser pouco sensível a variação de temperatura que ocorre naturalmente no interior do portal (Grantry). Os detectores possuem importantes eficiências na para transmissão da radiação, temos a eficiência geométrica, relacionada a área do detector sensível a radiação, com relação a área total que exposta ao feixe. A quântica refere a parte do feixe de raios X incidente sobre o detector que quando é absorvido contribuem assim para formar sinal elétrico. E a de conversão do sinal é associado a capacidade de converter a radiação absorvida em sinal elétrico (BISOLI, 2016).

5.4. ULTRASSONOGRAFIA

A teoria do Som foi publicada no ano de 1877, teve forte impacto para inauguração da física acústica Moderna, iniciado por Inglês John William conhecido por Rayleigh, durante a primeira guerra mundial foi posta em prática a utilização de geradores de sons com baixas frequências e que facilitava a navegação submarina. Em 1880, os irmãos Curie descobriram que o efeito piezelétrico em resultava de uma pressão mecânica sobre superfície de cristais e com isso foram capazes de gerar potencial elétrico entre as superfícies opostas produzindo, assim, som com alta frequência e denominaram sua descoberta como ultrassom (AMARAL.et.al, 2012).

Em 1957, o casal de médicos estadunidense, Douglas e Dorothy Howry, foram os pioneiros na utilização da ultrassonografia diagnóstica. Na época o paciente ficava submerso e imóvel dentro de uma banheira com água para realizar o exame, era um procedimento nada prático e a imagem de baixa qualidade. Hoje, o exame é confortavelmente para os pacientes e em um método difundido em todas as áreas médicas, utilizado na área preventiva para diagnosticar lesões no organismo. A primeira vez que foi falado sobre ultrassom no Brasil foi em 1972, pelo

professor Dr. Fernando María Bonilla Musoles que falou em São Paulo/SP sobre o tema. O Fernando Bonilla foi o grande mentor da ultrassonografia na América Latina, principalmente no Brasil (AMARAL *et.al*, 2012).

É um diagnóstico que acontece por ondas sonoras de alta frequência que incidem nos órgãos e tecidos, e refletem formando ecos e estes são convertidos em imagem (GARCIA, 2015). Com esta técnica é possível detectar doenças de tecidos moles, como cistos cheios de líquidos, porque produzem padrões de ecos resultantes (INCA, 2007).

A aplicação da ultrassonografia nas ciências médicas resultou em avanço nos estudos dos pacientes e seu uso difundiu-se rápido por tratar de uma técnica de diagnóstico não invasiva ao corpo humano (RBUS, 2015). A imagem ultrassônica deve aos ecos que são produzidos nas diversas estruturas do corpo, quando os feixes de ultrassom as alcança. Na ultrassonografia são utilizadas frequências numa faixa de 2 a 10 Mhz, os pulsos de ultrassom refletidos no interior do corpo são captados e processados para obter informações devido à distância, velocidade e a densidade do objeto (GARCIA, 2015).

5.4.1. Princípios do pulso eco

Todo som que se propaga em meio homogêneo interage com as estruturas do meio e por elas é parcialmente absorvido, refletido e refratado, as ondas são absorvidas se transformando em calor.

Quando feixe incide perpendicularmente sobre superfície ele é refletido de forma especular, a maior parte das ondas incidentes volta para fonte do ultrassom. Quando a reflexão é difusa, o feixe refletido se espalha por todas as direções e, consequentemente, os ecos espalhados apresentam direções aleatórias.

Os ecos produzidos, quando a onda ultrassônica passa de um meio para outro, serão tão intensos quanto maior for a diferença entre as impedâncias acústicas dos meios.

Nos tecidos moles, o som se propaga a uma velocidade constante, logo a impedância dependerá da densidade do meio, assim quando duas estruturas de densidades diferentes entram em contato haverá uma interface acústica, como por

exemplo gordura-músculo. Quanto maior for a diferença entre dois meios maior será a intensidade do eco produzido e para formação da imagem é preciso que tenha reflexão de boa parte da energia do feixe incidente suficiente para produzir um sinal nítido (GARCIA, 2015).

5.4.2. Eco Difuso e Especular

É o processo de espalhamento de ondas ultrassônicas, e ocorre quando feixe de ondas colide contra uma interface de superfície irregular, e essas ondas espalhadas seguem por direções aleatórias, algumas retorna ao sensor, aproximadamente das ondas incidentes e assim podem ser captadas e processadas (GARCIA, 2015). Observe a figura 29, mostra esquematicamente as ondas refletidas se propagando em direções diferentes e algumas ao equipamento transdutor.



Figura 29: Reflexão difusa de um feixe ultrassônico, T é aparelho Transdutor. Retirada de (GARCIA, 2015).

Muitos dos feixes espalhados retornam ao equipamento, aquelas que percorre um determinado caminho e volta, não trazem nenhuma informação sobre estrutura de análise, são aquelas que faz parte dos ruídos que contribui para reduzir a qualidade da imagem.

O Eco especular, é elemento básico para produção de imagem da estrutura estudada, esse eco se forma a partir da largura da estrutura ser maior que o comprimento de onda do ultrassom, depende do tamanho do alvo refletor e também da diferença da impedância acústica com meio que está inserido, diante dessas características os ecos produzira sinais fortes ou fracos (JOHN PELLERITO, 2015).

Para visualizar um alvo muito pequeno, exige que o comprimento de onda deve ser pequeno, neste caso é preciso aumentar a frequência dos ultrassons empregados e isso causará em uma imagem ruim, logo a técnica não é ideal para detectar objetos pequenos. O eco especular somente transforma em sinal para gerar imagens se o eco retornar a fonte. A reflexão dos sons obedece a lei de Descartes-

Snell para reflexão da luz, logo o ângulo de reflexão do feixe ultrassônicos é igual ao ângulo de incidência, observe o comportamento na figura 30, abaixo.

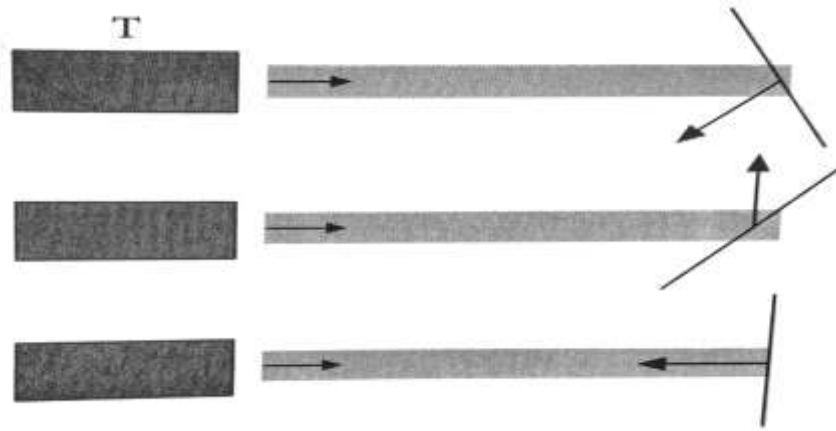


Figura 30: Reflexão especular de feixe ultrassônico. Retirada de (Garcia, 2015).

O eco só retorna a fonte quando o ângulo de reflexão for 0, e outra característica depende do tamanho do alvo, da profundidade, as ondas refletidas pode retornar ao sensor contribuindo para formar imagem. Muitas interfaces produzem ecos especular, como as cápsulas do fígado, rins, o útero, ovário, bexiga e entre outros.

5.4.3. Atenuação dos Ultrassons

A medida em que percorrem as estruturas do corpo, as ondas ultrassônicas sofrem absorção, reflexão especular e espalhamento, esses processos são contribuintes para atenuar a intensidade do feixe. A tabela 2 mostra vários meios e as espessuras capazes de reduzir a potência inicial de um feixe ultrassônicos de 2 MHz.

Tabela 2: Atenuação dos ultrassons.

Meio	Distância de meia potência (cm)
Água	380
Sangue	15
Tecido mole	1-5
Músculo	0,6-1
Osso	0,2-0,7
Ar	0,08
Pulmão	0,05

Fonte: Garcia (2015).

Resolução é a habilidade de diferenciar dois objetos próximos, definir seus detalhes, no caso do ultrassom resolução é a capacidade que o equipamento possui de distinguir duas interfaces refletoras próximas uma da outra. Existem dois tipos de resolução, axial e lateral.

A resolução axial permite distinguir objetos próximos do eixo de propagação das ondas ultrassônicas, os pulsos de ultrassom têm duração da ordem de $1\mu s$. A figura 31, mostra pulso ultrassônicos passando pela interface **a** e **b**, em cada uma delas é produzido eco especular que retorna ao transdutor uma característica é que a resolução não pode ser maior que o comprimento de onda (GARCIA, 2015).

A resolução lateral permite analisar um objeto situado num plano perpendicular ao eixo de propagação da onda, depende do diâmetro do feixe. A figura 31 mostra dois objetos situados perpendicularmente ao eixo de propagação, a distância da separação dos objetos é maior que o diâmetro do feixe. O equipamento figura 33, ao mover-se pode ser obtido ecos de cada objeto em análise, na situação 3 a distância entre o objeto e o equipamento é menor que o feixe, nesse caso há produção de dois ecos simultâneos, reconhecidos como apenas um corpo refletor.

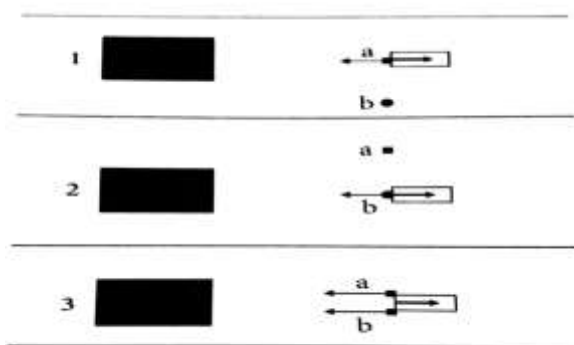


Figura 31: Ecos produzidos pelos objetos a e b. em 1 e 2 a distância entre a e b é maior do que a largura do pulso. Retirada de (GARCIA, 2015).

5.4.4. Equipamentos de Ultrassonografia

Os principais sistemas que integram um equipamento de ultrassonografia, são identificados por blocos, veja o esquema da figura 32 a seguir. Na figura são representados os seguintes componentes: o gerador e receptor de ultrassons, a recepção, amplificação, compensação e discriminação de ecos, processador de imagens, o registro de imagem e sincronização da imagem.

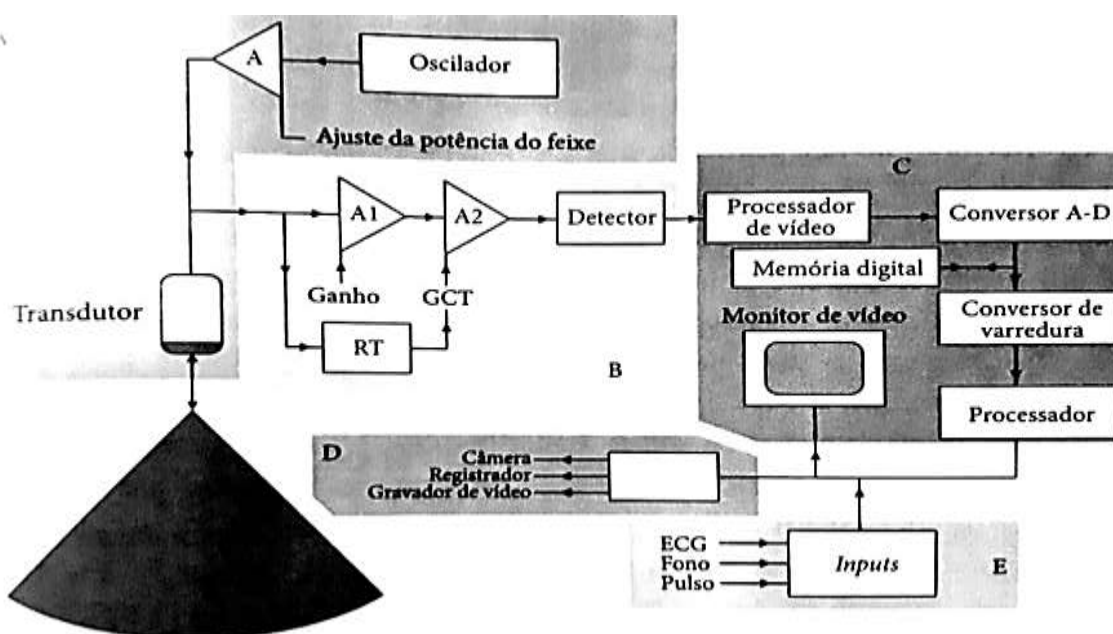


Figura 32: Esquema em blocos das partes de um ultrassonógrafo. Retirada de (GARCIA, 2015).

O sistema de gerador e receptor de ultrassom, é um conjunto responsável para produção e captação ultrassom, constituído de um circuito eletrônico oscilador, amplificador e transdutor. A excitação da potência e frequência do feixe ultrassônico

são ajustadas nessa parte. O transdutor, é o responsável por transformar os ecos refletidos pelo interior do corpo humano em sinais que serão decodificados eletronicamente em uma imagem que, por sua vez, será interpretada pelo médico que estiver realizando o exame. É um equipamento de cristal piezelétrico responsável para emissão e captação de ondas ultrassônicas refletidas, para captar os ecos, passa a funcionar como um sensor, a cada pulso emitido, o equipamento capta os ecos durante 0,25us, e pausa antes de iniciar outro ciclo (AMARAL *et.al*, 2012).



Figura 33: Transdutor. Fonte: (<https://www.aparelhos-ultra-som.com/transdutores.html>)

O cristal do transdutor varia de acordo com submissão de diferença de potencial elétrico, a forma do cristal também depende da polaridade elétrica aplicada, o interessante é que a medida que ao aplicar uma compressão obtém uma diferença de potencial elétrico isso faz com que os ecos sejam retornados ao transdutor, as diferenças de potencial que produzem variam de 1 mV a 1 V. isso informa que exigem de amplificação adequada para serem processados.

Os ecos recebidos pelo transdutor e transformados em sinais elétricos esses sinais são amplificados e armazenado no computador, quando conjuntos de sinais são enviados a um transdutor, o amplificador apresenta circuitos encarregados de analisar os retardos temporais detectando sinais fracos, até mesmos os objetos distantes do transdutor (JOHN PELLERITO, 2015)

5.4.5. Tipos de Ultrassonografias

O tipo modo A⁴ (Spike) é associado a exame ultrassonográfico mais simples baseados no registro da amplitude dos ecos. Este tipo é usado em exames de ecocardiográfica e ecoencefalografia e nesse estudo não forma imagem plana e

⁴ Unidimensional (Amplitude)

nem tridimensionais são visualizados apenas os ecos. Uma representação de ultrassonografia em modo A é apresentado na figura 34. O transdutor emite ultrassons que formam ecos que encontram os obstáculos refletoras situados no trajeto, então quando entra em contato com a pele atua como interface refletora, a grande magnitude é a proximidade do aparelho com a pele assim produz ecos especular, muitos equipamentos anulam eletronicamente o eco da pele (JOHN PERELLITO, 2015).

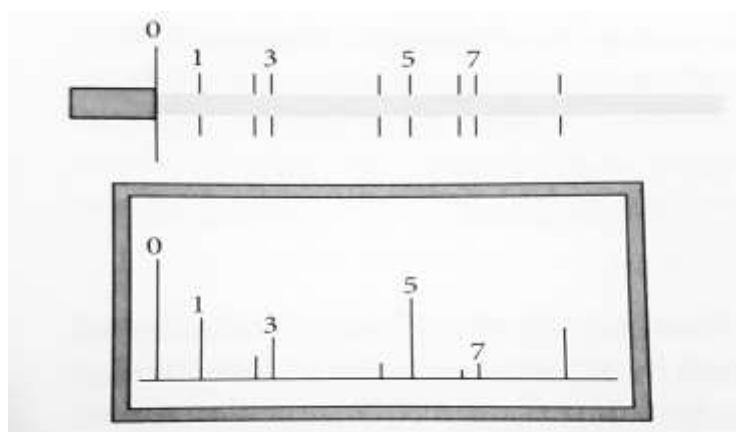


Figura 34: Mostra transdutor emitindo feixes de ultrassom atravessando várias superfícies refletoras.
Retirada de (Garcia, 2015).

O Tipo modo M (Motion⁵) consiste na obtenção de sinais não como ecos das ondas que são convertidos em pontos brilhantes, esses pontos de brilho são proporcionais a amplitude de cada eco. As informações registradas são dotadas de movimento com velocidade constante e perpendicular à direção do movimento do ponto luminoso, logo o registro corresponde um ponto imóvel que será uma reta e os pontos registrados como curvas são os pontos moveis. Observe, que esse tipo de exame é essencial para analisar o movimento de válvulas e das paredes do coração.

⁵ Modo M: Ecocardiografia (Motion)

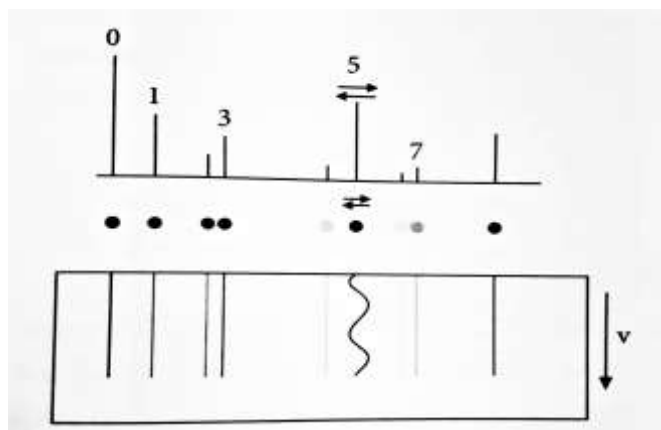


Figura 35: Os ecos são convertidos em pontos brilhantes(forte) que depende da amplitude dos sinais.
Retirada de (GARCIA, 2015).

O Modo B⁶ (Brightness) é exame que permite visualizar a forma do objeto de análise, os pontos que aparece sobre eixos determinados na tela pela orientação do feixe ultrassônico, ao mover o equipamento cria novos eixos permitindo a inscrições de pontos em qualquer posição da tela do monitor, afins de armazenar informações para cada posição de feixe incidente assim construindo imagem do órgão estudado. Veja a figura 36, na posição A o transdutor está colocado de forma que o feixe é horizontal, cada estrutura refletida corresponde um eco e cada eco corresponde a ponto brilhante, na medida ocorre modificação do transdutor em outras posições descrito em B, C e D, assim construindo a imagem do órgão.

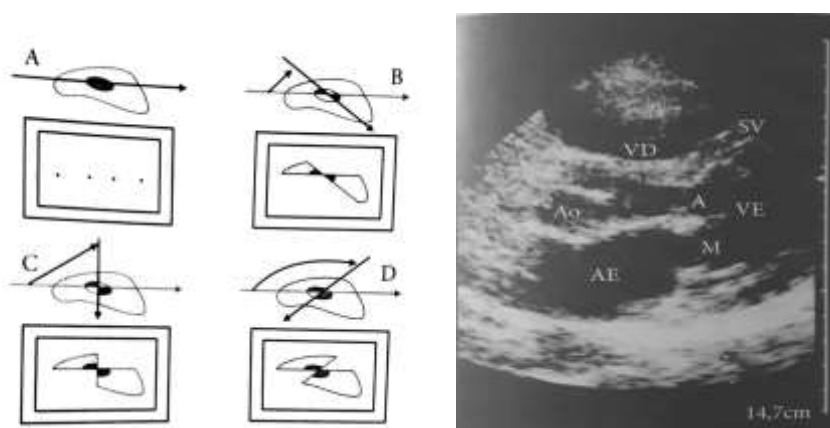


Figura 36: Os ecos são convertidos em pontos fortes, à medida que move o aparelho, gera imagem do objeto em análise. Imagem de um ventrículo direito (VD); SV, septo interventricular; A, valva aórtica; Ao, aorta; VE, ventrículo esquerdo; M, valva mitral; AE, átrio esquerdo. Retirada de (Garcia, 2015).

⁶ Modo B: Bi dimensional (Brightness). Usado na Rotina Clínica.

Uma das imagens ultrassonográfica do coração, figura 36, obtida por um transdutor situado na parede anterior do tórax, foi feita pelo modo B usando feixe ultrassônico pulsado, de acordo com a movimentação se permiti a imagem do ventrículo direito, do septo interventricular, do ventrículo esquerdo das válvulas mitral e aorta e do átrio esquerdo.

5.4.6. EFEITOS BIOLÓGICOS DOS ULTRASSONS

Os ultrassons podem causar efeitos biológicos no corpo humano, uma das propriedades do ultrassom, de elevar a temperatura dos meios que os absorvem, tem permitido o seu uso para tratamentos de patologias musculares e entre outras. O efeito térmico ocorre devido as fases de compressão e expansão de onda sonora.

A transferência de energia dos feixes para os tecidos biológicos obedece a equação semelhante a lei de Lambert-Bier:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (47)$$

Onde: I e a intensidade do feixe transmitido

I_0 Intensidade do feixe incidente

e Base dos logaritmos neperianos

α Coeficiente de absorção linear dos materiais do meio atravessado

x é a espessura do meio

A equação 47, mostra que quanto maior o coeficiente de absorção e espessura, menor será a intensidade transmitida, indica que uma parcela maior de energia será absorvida pelo meio, a tabela 3 mostra a variação de absorção nos diferentes tecidos, de acordo com a frequência. A energia absorvida por meios de mesma espessura é expressa como

$$E = \alpha \cdot I_0 \quad (48)$$

Onde E , é a energia absorvida pelo meio (W/m^3)

Piersol *et.al* (1952) mostrou que o coeficiente de absorção aumenta quando se eleva a quantidade de proteína presente no meio condutor. O ultrassom é

conduzido a pouca atenuação por água, sangue, gordura, o efeito térmico é pequeno pois a absorção é pequena.

Tabela 3: Absorção de ultrassons em alguns meios.

Tecido	Frequência (MHz)	Coefficiente de Absorção
Gordura	0,8	0,1
Gordura-músculo	0,8	0,14
Músculo	0,8	0,19
Nervo	0,98	0,2
Língua	0,98	0,25
Miocárdio	0,98	0,35

Fonte: Garcia (2015).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A física é um ramo da ciência que aborda diferentes áreas de conhecimentos interligados para o bem social, e ao longo desse trabalho teve por objetivo descrever os principais fenômenos físicos associados a exames de diagnóstico. A Física das radiações nucleares e eletromagnéticas, foram importantes contribuintes para a base teórica de compreender o funcionamento dessa pesquisa na área da saúde. Assim, obtivemos recursos ideais para descrever os efeitos associados no processo de radiação eletromagnéticas existentes nos exames de diagnósticos.

Os princípios físicos associados a formação de imagem em exames de ultrassonografia, contribui para compreensão de como acontece os procedimentos de formação de imagem, baseados dos conhecimentos físicos. Os exames ultrassonográficos, tem muita importância para sociedade, pois é um exame que está presente em diversas clínicas e hospitais, são exames de rápida execução e de segurança. A técnica é importante para estudo do funcionamento dos órgãos e serve de auxílio no diagnóstico médico.

Os conhecimentos adquiridos sobre como atua os conceitos físicos presentes nos processos na execução para formação de imagem, é importante para um

estudante de física ter uma ampla visão de como os conceitos físicos está inserida no cotidiano das diversas pessoas, auxiliando nos diagnósticos de saúde. Assim, um profissional que se qualifica na área de Física médica é responsável para desenvolver procedimentos necessários para assegurar a qualidade de imagem, em atividades ligadas, a busca de qualificação dos procedimentos de diagnósticos, diante dos avanços da ciência.

As descrições do funcionamento de como se dá a formação de imagens em diagnósticos ultrassonográficos, os processos físicos atuados nos procedimentos para obtenção de imagens, foram analisados e observados que a Física tem suma importância nos diagnósticos das estruturas internas do corpo.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, através de ressaltar a importância da Física na área médica, como também conhecer os princípios básicos da física inseridos nos processos de diagnóstico por imagem, através de vários conceitos desde o entender de como funciona as interações das radiações nucleares e eletromagnética, ao funcionamento nas aplicações em exames de diagnósticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Waldemar Naves do. *et.al.* **A História da Ultrassonografia no Brasil.** Goiânia. 2012.
- BITELLI, T. **Física e Dosimetria das Radiações.** 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2006.
- BIASOLI Jr; Antônio. **Técnicas Radiográficas: Princípios Físicos, Anatomia Básica, Posicionamento, Radiologia Digital, Tomografia Computadorizada.** 2º ed. Rev e Amp. Rio de Janeiro: Rubio, 2016.
- BENNETT, L.M. **Breast cancer: genetic predisposition and exposure to radiation. Molecular Carcinogenesis,** v. 26, n. 3, p. 143-149, 1999.
- BLEICHER, Lucas; SASAKI, J. Marcos. **Introdução à Difração de raios x em Cristais.** 2000.
- BRIOSCHI.L.M. *et.al.* **Utilização da Imagem Infravermelha em Reumatologia.** Review Article. V.47, n.1; p.42-51, Jan/Fev. 2007.
- CARDOSO. P. S. **Física das Radiações: Um enfoque CTS para alunos do ensino médio da área industrial. UFRJ.** Rio de Janeiro. Abril de 2017.
- CARDOSO, Eliezer de Moura. **Apostila Educativa.** Rio de Janeiro, 2ª ed. 2003.
- CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos.** 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARVALHO, Dr. Antônio Carlos Pires. **História da Tomografia Computadorizada.** Revista Imagem. 29(2). p. 61-66, 2007.
- CASTRO JÚNIOR, Amaury. **Introdução a radiologia.** 3ªed. São Paulo: Rideel,2008.
- CHALA, L. F.; BARROS, N. **Avaliação das mamas com métodos de imagem. Radiologia Brasil,** São Paulo, v.40.n.1, p.4-6, Jan/fev.2007
- EISBERG, R; RESNICK, R. **Física: Átomos, Moléculas e Partículas.** 1 ed. São Paulo: Elsevier,1979.
- FRANCISCO, Fabiano Celli *et.al.* **História da Radiologia no Brasil.** Revista imagem, v.28, n.1, p.63-66, 2006.
- FONTANA, Eduardo, PhD Professor titular. **Eletromagnetismo parte II.** UFP Departamento de Eletrônica e Sistemas. Tese de mestrado.1º Ed. Recife. 2011.
- FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto.** Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005.
- FURQUIM, T. A. C, COSTA, P. R. **Garantia de qualidade em radiologia diagnóstica.** Revista Brasileira de Física médica. São Paulo, v.3, n.1, p.91-99, 2009.
- GARCIA, Eduardo. A.C. **Biofísica.** 2.Ed. São Paulo: SAVIER, 2015.
- GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica.** 3ª.ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos da física**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 4. 2012.

HAMANN, João. **Entenda como funciona a produção dos raios x**. disponível em: <http://conter.gov.br/site/noticia/ampola>>. Acesso em 02 nov.2018.

HEWITI, PAUL G. **Física Conceitual**.12º ed. Porto alegre: Bookman,2015.

INCA — INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER. **Mamografia: da prática ao controle**. Ministério da Saúde. Rio de Janeiro: INCA, 2007.

JOHN PELLERITO, JOSEPH F POLAK. **Introdução à ultrassonografia vascular**. ed. 6º. Elsevier. Brasil, 2015.

LOUREIRO, Clarissa Fernanda Correia Lima. **Radiação ionizante da mamografia: diagnóstico ou indução ao câncer?**. Campinas, SP., 2011.

MACHADO, K.D. **Teoria do Eletromagnetismo**, volume II. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.

MEDEIROS, Rogério Fachel, Santos, Flávia Maria Teixeira dos. **Introdução à física das radiações**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Editora Edgar Blücher Ltda. São José dos Campos, 1989. 308p.

NUSSENZVEIG, Herch. Moyses. **Curso de Física básica**. Vol.4. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2003.

OKUNO, Emico. **Efeitos biológicos das radiações ionizantes: Acidente radiológico de Goiânia**. Estudos avançados, são Paulo, v.27, n.77, p.185-200, Jan. 2013.

OKUNO, Emico; Vilela, Maria Aparecida Constantino, **Radiação Ultravioleta: Características e Efeitos** - Coleção Temas Atuais de Física, 1ª Ed, Editora Livraria da Física USP, 2005.

OKUNO, Emico; YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações**. São Paulo: oficina de textos, 2010.

PENTEADO, Paulo Cesar M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física – Ciência e Tecnologia**, v. 2: Termologia, óptica, ondas. São Paulo: Moderna, 2005.

PELLEGRINI. A.L.M. **Análise de propagação de sinais de rádio frequência em rede wireless utilizando cabos irradiantes com configurações diferentes em ambiente indoor**. Brasília. UniCEUB. 2010

ROSA, Luciana Martins et. al. **Rastreamento mamográfico: Detecção de Lesões Neoplásicas Malignas em Mulheres de Santa Catarina e do Brasil**. Texto e contexto Enfermagem, v.25, n.3, p.1-8. 2016.

RBUS: Revista Brasileira de Ultrassonografia. **Sociedade Brasileira de Ultrassonografia**. Goiânia: Contato Comunicação. Vol.18, (março.2015).

REZENDE, Sergio. Machado. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. Ed. 2°. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

SANTOS, Wildson L. P. dos; MOL, Gerson de S. (coords). **Química cidadã**. 2ª ed. São Paulo: AJS, v.2. 2013.

SEARS & ZEMANSKY - **Física III, Eletromagnetismo**. Ed 12ª. Pearson, 2009.

SCHIRMER. G.T (et.al) **Transmissão de informações através de ondas eletromagnéticas**. Salão do conhecimento Uniuí. 2015.

TAUHATA, Luiz et.al. **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. CEP, V.22783, p. 127,2003.

VALADARES, E.; MOREIRA, A. M. **Ensinando Física Moderna no segundo grau: Efeito Fotoelétrico, Laser e Emissão de Corpo Negro**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

VELUDO, Patrícia. C. Efeitos da Radiação X e Níveis de Exposição em Exames Imagiológicos. Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra, tese de mestrado em Saúde Pública. Setembro 2011.

VIEIRA, Susana et.al. **Mamografria- Overview**, 2008.

YOUNG, H. D.:FREEDMAN, R. A. **Física 3: Eletromagnetismo**,12° ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. **Física das Radiações: Interação da radiação com a Matéria**. USP. Revista Brasileira de Física Médica, 2009.