

ANA PAULA BIM MALDONADO

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ÊNFASE EM RAIOS X: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA COM O USO DE TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS**

MARINGÁ- PR

Abril, 2020



ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ÊNFASE EM RAIOS X: UMA PROPOSTA DIDÁTICA COM O USO DE TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS

ANA PAULA BIM MALDONADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

MARINGÁ – PR

Abril, 2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

M244o Maldonado, Ana Paula Bim
Ondas eletromagnéticas com ênfase em raios x : uma proposta didática com o uso de tecnologias educacionais / Ana Paula Bim Maldonado. -- Maringá, PR, 2020.
165 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes.
Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2020.

1. Tecnologias educacionais. 2. Ensino de Física. 3. Raios X. I. Fernandes, Paulo Ricardo Garcia , orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 23.ed. 530.07

Marinalva Aparecida Spolon Almeida - 9/1094

**ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ÊNFASE EM RAIOS X: UMA PROPOSTA
DIDÁTICA COM O USO DE TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS**

Ana Paula Bim Maldonado

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes
DFI/UEM

Prof. Dr. André Maurício Brinatti
DEFIS/UEPG

Profa. Dra. Hatsumi Mukai
DFI/UEM

Maringá - PR

Abril, 2020

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista”.

Aldo Novak

Dedico esta dissertação aos meus Pais, Sogro e Sogra, irmão, ao meu esposo Junior que sempre me apoiou e incentivou e meus amados filhos João Pedro e Jordano.

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus, por me guiar, guardar e conceder a realização deste sonho;
- Ao meu professor e orientador Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, pela paciência, dedicação, conselhos e ensinamentos; com toda sua bagagem e conhecimento, um ser humano humilde, alegre e disposto, no qual contribuiu e sanou minhas angústias com relação aos caminhos a seguir, possibilitando a abertura de novos horizontes.
- À professora Dra. Hatsumi Mukai do MNPEF-DFI-UEM, pelas orientações, conselhos, incentivos e disposição; sempre muito prestativa e orientando no cumprimento dos créditos; dando sugestões assertivas e auxiliando em toda a parte burocrática.
- Ao professor Dr. Mauricio Antonio Custodio de Melo, que ministrou a disciplina de Mecânica Quântica e por toda disposição apresentada ao auxiliar no manuseio do Equipamento de Raios X;
- Ao professor Ms. Ivanildo Fabrício de Oliveira, mestre pelo MNPEF/UEM, pela valiosa ajuda experimental e tecnológica. Também pela disposição e participação na atividade experimental que foi fundamental.
- Aos demais professores que fazem parte do MNPEF da Universidade Estadual de Maringá, pelas contribuições despertadas, trocas de experiências e aulas ministradas;
- Ao meu amado esposo, que sempre se fez presente me apoiando e incentivando, buscando junto a nossos filhos serem compreensivos a minha ausência, principalmente aos finais de semanas, na qual me dedicava horas e horas aos estudos.
- Aos meus filhos João Pedro e Jordano que mesmo com pouca idade, compreenderam minha ausência e colaboraram para minhas idas e vindas a Maringá.
- Aos meus Pais Antônio e Sueli que sempre me incentivaram na carreira do magistério;
- À Cristina, que foi sempre prestativa, me auxiliando e colaborando nos cuidados com meus filhos para que pudesse viajar para Maringá, cursar as disciplinas do MNPEF;

- À Diretora do Colégio Estadual Barão do Rio Branco EFM e EJA, Dulcinéia de Cassia Ferrari, de Inajá- PR que aceitou e oportunizou a aplicação do Produto Educacional, bem como o estágio supervisionado.
- Aos meus amigos do MNPEF que levarei para vida toda Arlete, Bruna, Cleuza, Felipe, Marcos, Pedro, Rafael e Rodrigo que foram companheiros durante esta caminhada, na troca de experiências, apresentações de seminários, grandes incentivadores e sempre dispostos, apoiando quando surgiam as dificuldades;
- Aos meus amigos, poucos e verdadeiros, que sempre me apoiaram e também acreditaram que seria possível;
- A todos meus familiares, em especial a minha prima Sílvia Amélia Bim, que participou da defesa online, devido ao período de pandemia (COVID 19) e contribuiu com o tema do Produto Educacional;
- A todos os colegas de trabalho do Colégio Estadual Barão do Rio Branco de Inajá- PR;
- À Sociedade Brasileira de Física (SBF) que oportunizou a oferta deste Mestrado na UEM – Universidade Estadual de Maringá (Polo 20).
- A CAPES, pois o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Muito Obrigada!

RESUMO

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ÊNFASE EM RAIOS X: UMA PROPOSTA DIDÁTICA COM O USO DE TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS

Ana Paula Bim Maldonado

Orientador:

Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O objetivo deste trabalho é proporcionar uma prática educativa que contextualize e utilize tecnologias educacionais no estudo das Ondas Eletromagnéticas, em específico os Raios X, conceito contemplado na Física Moderna e Contemporânea (FMC). Buscando promover um conhecimento crítico e detalhado sobre o surgimento dos Raios X, suas aplicações e importância nos dias atuais. Desenvolvemos e, aplicamos uma sequência didática baseada na aprendizagem significativa de Ausubel no Terceiro Ano do Ensino Médio do Colégio Estadual Barão do Rio Branco, município de Inajá, PR. Repensando o Processo Ensino-aprendizagem, buscamos diversas possibilidades didático-metodológicas que pudessem acrescentar e contribuir na qualidade da Educação Básica em ressonância com as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (2008). Temos a convicção de que os recursos tecnológicos associados ao currículo escolar podem estimular e contribuir no processo ensino-aprendizagem. A presente proposta aborda o uso de experimentos de Raios X via acesso remoto com objetos presentes no cotidiano dos alunos. A partir dessa prática experimental, percebeu-se um grande aumento do interesse e da participação dos alunos na componente curricular Física bem como nos conceitos abordados em Física Moderna. Outra contribuição não menos importante, foi a de que os alunos compreendessem que a Ciência não é algo pronto e acabado, visto que desde a descoberta dos Raios X até os dias atuais muito se evoluiu e o mesmo se faz presente com diversas atuações em nosso cotidiano.

Palavras-chave: Tecnologias Educacionais; Ensino de Física; Raios X.

ABSTRACT

ELECTROMAGNETIC WAVES WITH EMPHASIS ON X-RAYS: A DIDACTIC PROPOSAL WITH THE USE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

Ana Paula Bim Maldonado

Supervisor:
Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

A Master dissertation submitted to the graduate studies Program of Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, as a part of the basic requirements needed to achieve the title of Mestre em Ensino de Física.

The objective of this work is to provide an educational practice that contextualizes and uses educational technologies in the study of Electromagnetic Waves, in specific x-rays, a concept contemplated in Modern and Contemporary Physics (FMC). Seeking to promote critical and detailed knowledge about the emergence of X-rays, their applications and importance these days, we develop and apply a didactic sequence based on Ausubel's meaningful learning in the Third Year of High School from the Barão do Rio Branco State College, municipality from Inajá, PR. Rethinking the Teaching-Learning Process, we sought several didactic-methodological possibilities that they could add and contribute to the quality of Basic Education in resonance with the Guidelines Curriculars of the State of Paraná (2008). We are convinced that the technological resources associated with the school curriculum can stimulate and contribute to the teaching-learning process. This proposal addresses the use of X-ray experiments, via remote access, with objects present in the daily lives of students. From this experimental practice, a great increase in the interest and participation of students in the curricular component Physics as well as in the concepts addressed in Modern Physics was perceived. Another not less important contribution, was that students understanding that Science is not something ready and finished, since from the discovery of X-rays to the present day much has evolved and the same is present with various performances in our Everyday.

Keywords: Educational Technologies; Physics Teaching; X-rays.

Sumário

Resumo	ix
Abstract	x
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas e Quadros.....	xv
Lista de Abreviaturas.....	xvi
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA - CONCEITOS DE FÍSICA, TEORIAS DE APRENDIZAGEM E PRÁTICAS PEDAGÓGICAS	4
1.1. Teoria de aprendizagem e Práticas Pedagógicas	5
1.1.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel.....	5
1.1.2 Sequência Didática	8
1.1.3 Mapas Conceituais	10
1.1.4 A Pesquisa/Trabalho como Princípio Educativo.....	12
1.1.5 Uso de Tecnologias Educacionais “ <i>Mobile Learning</i> ” e o Acesso Remoto ...	13
1.2. Referencial Teórico - Aspectos Físicos	15
1.2.1. Ondas Eletromagnéticas e Fenômenos Ondulatórios	15
1.2.1.1 Espectro Eletromagnético	22
1.2.1.2 Difração	24
1.2.2 Raios X: da descoberta às aplicações	32
1.2.2.1 Descoberta dos Raios X	32
1.2.2.2 Processo de Produção de Raios X	37
1.2.2.3 Interação de Raios X com a Matéria	41
1.2.2.4 Aplicações dos Raios X	46
1.2.2.4a Aplicações Gerais	46
1.2.2.4b Aplicação em Pesquisa na Física - Radiação Síncrotron.....	49
1.3. A Experimentação no Ensino de Física – Uso do Equipamento de Raios X via Acesso Remoto	51

CAPÍTULO 2 – PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO	54
2.1. Planejamento e Elaboração do Produto Educacional	54
2.2. Apresentação e Aplicação do Produto Educacional	57
2.3. Práticas Pedagógicas e Materiais Utilizados	59
2.4. Apresentação e Aplicação da Sequência Didática (SD)	60
2.4.1 Ficha Técnica – Sequência Didática	61
2.4.2 Estrutura das Aulas	62
2.4.3 Processo de Avaliação	64
2.4.3.1 Concepções acerca da Aula 1 – Mapa Conceitual.....	64
2.4.3.2 Concepções acerca das Aulas 4 e 5 – Seminários	65
2.4.3.3 Concepções acerca da Aula 8 – Mapa Conceitual	66
CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
3.1. Análise da Aula 1 – Apresentação e Identificação de Conhecimentos Prévios	68
3.2. Análise da Aula 2 – Organização de Seminários em Grupos	69
3.3. Análise da Aula 3 – Leitura e Discussão do Texto “As Origens da Ciência Moderna”	70
3.4. Análise das Aulas 4 e 5 – Apresentação e Avaliação dos Seminários	70
3.5. Análise da Aula 6 – Leitura do artigo “Raios-X: Fascinação, Medo e Ciência”	74
3.6. Análise da Aula 7 – Experimento com Acesso Remoto	74
3.7. Análise da Aula 8 – Avaliação Final por Meio de Mapas Conceituais	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS	82
ANEXO A - TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL	87
ANEXO B – MAPAS CONCEITUAIS ELABORADOS PELOS ESTUDANTES – Aulas 1 e 8	88
APÊNDICE A – MODELO DE FICHA PARA OS MAPAS CONCEITUAIS.....	92
APÊNDICE B – ROTEIRO DE ATIVIDADE EXPERIMENTAL	93
APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL.....	96

Lista de figuras

Figura 1.1 – Imagem fotográfica do psicólogo educacional norte-americano David Paul Ausubel (1918-2008).

Figura 1.2 – Exemplo de mapa conceitual sobre aprendizagem significativa.

Figura 1.3 – Fotografia contendo imagens de materiais de fácil acesso (tanto para os alunos e professores, como para a escola). Sendo: (a) computador portátil do tipo *net-book*; (b) *smartphones* do tipo Android® ou iOS®; (c) projetor multimídia – *Datashow*; (d) *tablet*; (e) câmera fotográfica (f) computador portátil do tipo *notebook*.

Figura 1.4 – Representação de uma onda eletromagnética transversal – apresentação dos campos elétrico (\vec{E}) e magnético (\vec{B}). As cores são meramente ilustrativas.

Figura 1.5 – Representação do limite do espectro eletromagnético. Esquematização dos valores numéricos dos comprimentos de onda (λ) em cm em cada região, bem como, a abrangência do mesmo. As cores são meramente ilustrativas.

Figura 1.6 – Representação esquemática da sequência de cores do espectro visível, e a regra mnemônica utilizada para lembrar a sequência das cores.

Figura 1.7 – Esquematização do Princípio de Huygens (a) para a construção geométrica de uma fonte de onda, a partir de uma frente de onda anterior. (b) ilustração de uma frente de onda esférica indicando as regiões de sombra após a fenda.

Figura 1.8 – Ilustração da representação da luz difratada: (a) de uma rede cúbica com distância d entre os planos, (b) da dispersão de Bragg sendo representado em duas dimensões, λ indica o comprimento de onda da onda incidente/difratada, θ o ângulo da onda incidente com o plano, que é igual ao da onda incidente/difratada, d a distância entre planos, e em destaque em (c) a diferença de caminho óptico $\overline{ABC} = 2d \sin \theta$.

Figura 1.9 – Representação do fenômeno de difração de uma luz monocromática no experimento de fenda simples. Em que, I_0 é a intensidade da frente de onda que chega a fenda, b a abertura da fenda, θ o ângulo de difração, e y indica um ponto de mínimo de intensidade com relação ao centro. O padrão observado é a imagem semelhante à imagem fotográfica à direita, partes claras e escuras.

Figura 1.10 – Representação da luz de intensidade I_0 , difratada pelas duas fendas de tamanho b sofre efeito de interferência/difração, e período d , de modo a se obter no anteparo máximos e mínimos de luz.

Figura 1.11 – Imagem fotográfica: (a) do físico e engenheiro mecânico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, e em (b) do tubo de Crookes.

Figura 1.12 – Representação esquemática do aparato experimental construído por Röntgen.

Figura 1.13 – Imagem (a) de Röntgen realizando Raios X da mão esquerda de sua esposa Bertha. Em destaque, apresenta-se o busto de Wilhelm Röntgen, (b) do resultado da imagem por Raios X.

Figura 1.14 – Representação esquemática de um tubo a gás utilizado na produção de Raios X que consiste de uma ampola de vidro ou metal, a vácuo, comum filamento de tungstênio em uma extremidade, denominado cátodo, e um alvo de metal na outra extremidade, denominado ânodo.

Figura 1.15 – Representações dos comportamentos gráficos dos espectros contínuos utilizando um ânodo de tungstênio de acordo com a ddp em quilovolt (KV). O espectro contínuo é uma curva da intensidade em contagens por segundo, versus comprimento de onda (λ) dos Raios X,

Figura 1.16 – Desenho esquemático do tubo de Coolidge para emissão de Raios X. As partes constituintes deste aparato estão indicadas no próprio desenho, bem como, a representação dos Raios

X sendo produzidos.

Figura 1.17 – Desenho ilustrativo de uma amostra de espessura d e do esboço gráfico do coeficiente de atenuação de uma radiação incidente (a) monocromática (verde), e material homogêneo (em alaranjado) e (b) radiação policromática (vermelho) e material não homogêneo em cinza. Sendo I_0 intensidade inicial e I a final. As cores são meramente ilustrativas.

Figura 1.18 – Representação de um espectro eletromagnético e energia de penetração indicando dentro da faixa dos Raios X, os Raios X moles e os duros. E, exemplos de aplicações no cotidiano dos Raios X duros (alta energia), cristalografia, mamografia, tomografia computacional e segurança em aeroportos.

Figura 1.19 – Imagem demonstrando o uso de Raios X em aeroportos. À esquerda se pode observar um operador verificando os pertences no interior das malas que passam pelo aparelho. À direita destacamos o efeito dos Raios X em uma mala de viagens. Esta é uma prática comum nos aeroportos de modo que não sejam despachados produtos ilegais.

Figura 1.20 – Ilustração (tradução da autora) do processo de obtenção de Raios X - Anel de Armazenamento Síncrotron.

Figura 1.21 – Imagem fotográfica do SIRIUS. O acelerador de partículas possui 518 m de circunferência e emitância de $0,27 \text{ nm} - \text{rad}$.

Figura 1.22 – Imagem fotográfica do aparelho de Raios X do tipo EXPERT 4.0 (PHYWE) utilizado para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado, incluso no Produto Educacional.

Figura 2.1 – Fotografia do aparelho de Raios X do tipo EXPERT 4.0 (PHYWE) contendo um objeto para análise. Neste caso o objeto é o fruto de *Bixaorellana*, conhecida comumente como Urucum ou colorau. No lado esquerdo a ampola de tungstênio (W) ligada, e indicada na parte inferior.

Figura 2.2 – Fotografia registrada no momento em que fora inserida uma calculadora comum dentro da embalagem (indicado pela seta em vermelho) no aparelho de Raios X.

Figura 2.3 – Imagem fotográfica contendo os resultados dos objetos/alimentos utilizados no aparelho de Raios X. A imagem de Raios X: (a) de um fruto de amendoim; (b) de dois frutos de Urucum (com semente); (c) de uma uva e (d) de uma calculadora, sendo projetadas pelo aparelho.

Figura 2.4 – Imagem do Mapa conceitual elaborada pela autora no início da elaboração do Produto Educacional.

Figura 3.1 – Gráfico do número de Alunos versus indicativos de conhecimentos prévios. Conceitos que mais foram citados pelos alunos nos Mapas Conceituais da Aula 1: conhecimentos prévios.

Figura 3.2 - Imagem fotográfica do aparato experimental para experimento realizado pelos alunos em sala de aula para ilustrar o efeito da onda sonora. Indica-se o pó de giz para observar esse efeito, e a caixa de som com um recipiente de plástico cobertos por uma folha de plástico utilizados na realização do experimento.

Figura 3.3 - Imagem fotográfica dos alunos apresentando o seminário e em destaque uma onda mecânica com material alternativo (meia de seda). Em destaque (a) a onda representada por meio de uma corda de seda.

Figura 3.4 - Imagem fotográfica da apresentação do grupo 2. O diferencial deste grupo está na participação de uma aluna deficiente auditiva, realizando a sua apresentação em Língua Brasileira de Sinais (Libras).

Figura 3.5 – Imagem fotográfica de um “ Pedoscópio” fluoroscópio empregado nas grandes sapatarias na década de 20. (a) sendo utilizado e (b) o equipamento, as letras “A” por onde poderiam ser vistas as imagens projetadas pelo aparelho.

Figura 3.6 - Imagem fotográfica da apresentação do equipamento de Raios X PHYWE - (esquerda –

indicado com a seta vermelha) que foi visualizado via Acesso Remoto em tempo real intermediado pela Professora Ana Paula Bim Maldonado (autora desta dissertação) em pé a direita da foto.

Figura 3.7– Imagem fotográfica contando com a presença do Prof. Dr. Paulo Ricardo (DFI/UEM). Além de realizar um momento de motivação, o Professor acompanhou a verificação do funcionamento do equipamento via Acesso Remoto.

Figura 3.8 - Imagem fotográfica da atuação de um aluno acionando os comandos no equipamento de Raios X, via acesso remoto e capturando a imagem de Raios X do Urucum, sendo orientados pelo Prof. Paulo Ricardo (DFI/UEM) e pela Profa. Ana Paula (docente responsável pela turma e autora do presente trabalho).

Figura 3.9 - Imagem fotográfica de Raios X: (a) do Urucum ("*Bixa Orellana*" – ilustrado no canto direito da foto com o fruto aberto) obtida pelo aparelho a partir da manipulação dos estudantes com o aparelho, e (b) projeção da imagem de Raios X da calculadora que encontrava-se em sua embalagem original.

Lista de Tabelas e Quadros

Tabela 1.1 - Espectro da radiação eletromagnética. Apresentação dos sete tipos de ondas eletromagnéticas, bem como, o comprimento de onda (medido em Angstroms e centímetros); frequência em Hertz (*Hz*) e, energia (medida em eletrovolts (*eV*)).

Quadro 1.1 – Organização e estrutura da apresentação do Capítulo 1.

Quadro 1.2 – Equações de Maxwell – formas integrais e derivadas.

Quadro 2.1 – Ficha Técnica da Sequência didática.

Quadro 2.2 – Estrutura das aulas.

Lista de abreviaturas

CEBRB – Colégio Estadual Barão do Rio Branco

DFI – Departamento de Física

DCE – Diretrizes Curriculares do Estado

FMC - Física Moderna e Contemporânea

LARI – Laboratório de Acesso Remoto

LNLS - Laboratório Nacional de Luz Síncrotron

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PNLD - Programa Nacional do Livro Didático

PR – Paraná

SD - Sequência Didática

SEED - Secretaria de Estado da Educação

UEM - Universidade Estadual de Maringá

INTRODUÇÃO

Ensinar Física para alunos do Ensino Médio não é algo tão simples, pois os alunos, mesmo antes de conhecer os objetos de estudo da componente curricular, já apresentam certo preconceito e dizem não gostar. As dificuldades encontradas pelo professor em sala de aula são notáveis, muitas vezes contempla um público em situações de vulnerabilidade social, com grande desinteresse e sem perspectiva de sucesso escolar. Há ainda os desafios com relação à infraestrutura, a falta de inovação tecnológica e até mesmo a falta de capacitação do professor. Por outro lado, seria utopia desejar trabalhar apenas com alunos motivados. Segundo Perrenoud (2000), cada aluno vivencia a aula conforme seu humor e a disponibilidade do que ouve e compreende, de acordo com seus próprios recursos intelectuais.

O Ensino de Física em especial a Física no Ensino Médio ainda é pouco vinculado ao laboratório e às situações concretas, muitas vezes o professor ou as condições de trabalho restringe apenas ao uso do livro didático e aulas expositivas. Na última década, com o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), os livros passaram por mudanças e contemplam alguns temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea (FMC), mas ainda não é suficiente, de acordo com Moreira (2018):

"A área de ensino de Física no Brasil tem longa tradição. A pesquisa e a pós-graduação em ensino de Física existem há décadas, assim como eventos nacionais da área. Muitos recursos instrucionais e projetos em ensino de Física já foram desenvolvidos. Revistas e publicações nessa área confirmam sua existência e consolidação. Paradoxalmente, no entanto, nos dias de hoje, o ensino de Física no Brasil está em crise, desatualizado, minimizado, desvalorizado." (Moreira, 2018 p 01)

De acordo com Luciano (2019), o uso de atividades experimentais relacionadas aos conceitos abordados pela FMC pode ajudar na motivação e compreensão dos alunos no processo de aprendizagem. A presença de tecnologias educacionais e de laboratórios é de grande valor e podem colaborar significativamente, no entanto, a tarefa de prover equipamentos às escolas para viabilizar práticas experimentais torna-se complexa, uma vez que tal instrumentalização requer muitos recursos financeiros, além da necessidade de treinar rapidamente grupos de professores a realizarem as atividades.

Visando contribuir com o Ensino de Física em especial a FMC no estudo dos Raios X com a prática pedagógica, desenvolvemos uma Sequência Didática que

apresenta como proposta o uso de experimentação via acesso remoto. Essa proposta pode ser vista como uma alternativa à falta de laboratórios e equipamentos laboratoriais, também busca favorecer ao aluno o acesso a equipamentos de custo mais elevado e de novas tecnologias.

Aprofundando o estudo dos Raios X (FMC), a autora acredita poder contribuir com a valorização da Física como Ciência, deixando bem claro aos educandos que é de muita importância a presença da Física como componente curricular, visto que ela é fundamental na compreensão dos fenômenos naturais. Também é inegável que reconheçam a presença da Física no dia a dia, como na medicina, em radiografias, nos aeroportos, na conservação dos alimentos e em diversas situações propiciadas pelos avanços decorrentes da FMC.

Tomando conhecimento do Equipamento de Raios X (PHYWE) disponível no laboratório de acesso remoto (LARI), do Departamento de Física (DFI), na Universidade Estadual de Maringá (UEM), e sabendo que o acesso remoto a longa distância (~100 Km) com o uso desse equipamento foi inédito, criou-se uma certa expectativa para o trabalho de dissertação. Analisando as propostas de ensino com o tema Raios X e os livros didáticos do Programa Nacional de escolha do livro didático (PNLD), observamos que quase não havia propostas com atividades experimentais e uso de acesso remoto.

A partir desses fatos, surgiu a questão: é possível aplicar uma atividade experimental, remota contemplando o tema Raios X, aos alunos que não possuem acesso a laboratório e fazer com que eles se sintam motivados e ocorra uma aprendizagem significativa?

A partir da semana pedagógica ofertada pela Secretaria de Estado da Educação – SEED, no mês de fevereiro de 2018, a ideia dessa sequência didática sobre Raios X foi reforçada. Na ocasião, o material de estudo abordava o tema: Repensando o Processo Ensino-aprendizagem, com diversas possibilidades didático-metodológicas.

O material proporcionou uma reflexão sobre a práxis pedagógica e sua efetivação em sala de aula. Foi possível repensar e identificar as possibilidades didático-metodológicas que rompem com a tradição da aula somente expositiva, trazendo o estudante à participação ativa no processo ensino-aprendizagem.

Com a realização desses estudos prévios, propôs-se neste trabalho, um Produto Educacional que tem como base uma Sequência Didática (SD) utilizando um equipamento de Raios X (PHYWE, modelo EXPERT 4,0), com acesso remoto, para

aplicação no ensino médio com o objetivo de contribuir para o ensino de Física na perspectiva da Aprendizagem Significativa de David Paul Ausubel. Para auxiliar nesta aplicação do PE, a SD ainda comporta em sua aplicação, a apresentação de seminários tendo como autores os próprios alunos, pois os mesmos realizaram pesquisas e cada grupo elaborou sua apresentação; o uso de vídeos e artigos correlatos ao tema entre as estratégias pedagógicas.

Diante ao exposto, a presente dissertação está apresentada da seguinte forma: O Capítulo 1 contém a fundamentação teórica tanto da teoria de aprendizagem, quanto da parte Física, do ponto de vista da componente curricular de FMC, seguida do Capítulo 2 com a descrição do Produto Educacional e sua aplicação. No Capítulo 3 os Resultados e sua Análise. Fechando a dissertação com as Considerações Finais, seguidas das referências (citadas em ordem alfabética). Embora se tenha como regra apresentar os apêndices antes dos anexos, neste trabalho essa ordem será inversa, apresentando primeiramente dois anexos (Anexo A - Termo de autorização para aplicação na instituição de ensino e Anexo B - Amostragem de mapas conceituais iniciais e finais), seguidos de três apêndices (A - Modelo da ficha do mapa conceitual, B- Roteiro da Atividade Experimental e C – Produto Educacional). O motivo é por este último conter o PE em separado para ser diretamente aplicado por qualquer leitor e atender as normas do MNPEF em rede nacional.

CAPÍTULO 1 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – CONCEITOS DE FÍSICA, TEORIA DE APRENDIZAGEM E PRÁTICAS PEDAGÓGICAS

Iremos abordar neste capítulo, os referenciais teóricos de conceitos físicos, a teoria de aprendizagem de Ausubel e as práticas pedagógicas que contribuíram para a compreensão do estudo dos Raios X. Os tópicos selecionados para a parte dos conceitos Físicos foram temas escolhidos de acordo com a realidade dos alunos, do seu cotidiano, e alguns termos que citaram no mapa conceitual inicial, buscando assim abordar o que possa ter significado aos alunos, e nesta seção da dissertação foi contextualizada na linguagem vista em Eletromagnetismo e Mecânica Quântica das componentes curriculares do MNPEF.

O Quadro 1.1 apresenta a forma da apresentação do conteúdo neste capítulo.

Quadro 1.1 - Organização e estrutura da apresentação do Capítulo 1 .

<u>Tópicos de Estudos – Fundamentação Teórica</u>	
1.1 - Teoria de aprendizagem e Práticas pedagógicas	1.2 - Referencial teórico – Aspectos Físicos
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprendizagem significativa de David Ausubel; ➤ Sequência Didática – Antoni Zabala; ➤ Práticas Pedagógicas: <ul style="list-style-type: none"> • Mapas conceituais; • A pesquisa e o trabalho como princípio pedagógico; • Uso de Tecnologias Educacionais <i>Mobile Learning</i> e o Acesso Remoto; • A Experimentação no Ensino de Física – Uso do Equipamento de Raios X. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ondas Eletromagnéticas e os Fenômenos Ondulatórios: <ul style="list-style-type: none"> • Espectro Eletromagnético; • Difração. ➤ Raios X: da descoberta à suas aplicações: <ul style="list-style-type: none"> • Descoberta; • Produção de Raios X; • Interação dos Raios X com a Matéria; • Aplicações dos Raios X: aplicações gerais e a radiação Síncrotron.

FONTE: adaptado da referência Nitsche (2019).

Inicia-se assim, com as teorias de aprendizagem e práticas pedagógicas e, na

sequência, os conceitos de fenômenos ondulatórios com foco nas ondas eletromagnéticas, em específico as ondas de Raios X.

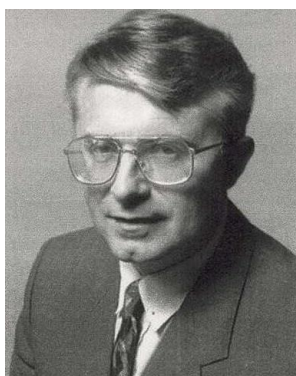
1.1 Teoria de aprendizagem e Práticas Pedagógicas

Conforme exposto no Quadro 1.1, esta seção está dedicada à teoria da qual está baseada a metodologia do desenvolvimento deste trabalho, que são: a Teoria de Aprendizagem de Ausubel, a Sequência Didática de acordo com Antoni Zabala, e as práticas pedagógicas: Mapas Conceituais, seminários (pesquisa), o uso de tecnologias educacionais “*Mobile learning*” e o acesso remoto

1.1.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel

David Paul Ausubel (Figura 1.1), psicólogo educacional, filho de imigrantes judeus, desde sua infância apresentava-se insatisfeito com a educação que recebia. Formou-se em Psicologia em 1939 e Medicina em 1943. Ausubel é bastante conhecido no meio educacional pela sua proposta denominada de Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) publicada em 1963. (Ausubel, 2019).

Figura 1.1 – Imagem fotográfica do psicólogo educacional norte-americano David Paul Ausubel (1918-2008).



Fonte: Créditos Universidade de Columbia <<https://novaescola.org.br/conteudo/262/david-ausubel-e-a-aprendizagem-significativa>>.

As ideias de David Ausubel encontram-se entre as primeiras propostas psicoeducativas que tentam explicar a aprendizagem escolar e o ensino a partir de um marco distanciado dos princípios condutistas¹. Com início na década de 60, segundo a

¹*Condutistas*: é uma teoria psicológica que se centra numa conduta que pode ser observada. Esta teoria tem duas variantes: o condicionamento clássico e o condicionamento operante. O *Clássico* descreve um condicionamento

teoria de Ausubel no processo de ensino aprendizagem, a nova informação interage em comum à estrutura de conhecimento específico, que Ausubel chama de conceito “subsunçor”. O subsunçor pode ser entendido como o ponto cognitivo do aluno que dará sentido a um novo conhecimento.

No Brasil, uma das referências mais conhecidas na divulgação da TAS é o Prof. Dr. Marco Antonio Moreira, Físico, professor pesquisador que atua na área de Ensino de Física, atualmente professor aposentado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) - Porto Alegre (RGS).

Segundo Moreira (2012), baseando em Ausubel, a aprendizagem significativa ocorre quando ideias expressas de maneira simbólica interagem de maneira substantiva (não-literal), e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Tal interação não ocorre com qualquer ideia prévia, mas com algum conhecimento relevante já existente na estrutura cognitiva desse aprendiz.

A aprendizagem é dita significativa, quando uma nova informação (ideia, conceito, proposição) adquire significados para o aprendiz por meio de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva já existente no indivíduo, o chamado conhecimento prévio². Ao contrário, ela se torna mecânica ou repetitiva, e o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva³, assim, o aluno decora fórmulas, leis, mas esquece após a avaliação.

Conforme argumenta Pelizzari (2002), não há uma receita para efetivação da aprendizagem:

[...] Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quer memorizar o conteúdo, arbitrária e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo lugar, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser, potencialmente, significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo e o significado psicológico é uma experiência que cada um tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio. (PELIZZARI, 2002, p.37-42).

No caso específico da componente curricular de Física, de acordo com a TAS, leva-se em consideração que o aluno ao chegar à escola para estudar Física, já

entre o estímulo e resposta, de forma que damos o estímulo adequado obtemos a resposta adequada. E, o *Operante*, busca a consolidação da resposta segundo o estímulo, buscando o reforço necessário para implantar esta relação no indivíduo.

²*Conhecimento prévio*: informações ou saberes que temos armazenados, guardados, em nossa mente e que pode ser acionado quando necessário ou instigado.

³*Estrutura Cognitiva*: Ausubel define como estrutura cognitiva a estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo (MOREIRA, 1999, p.161).

possua concepções empíricas sobre os fenômenos Físicos que acontecem a sua volta, essas concepções também podem ser consideradas como conhecimentos prévios.

Cabe aos educadores motivar e buscar maneiras para que as duas condições necessárias (disposição e o conteúdo ser significativo) aconteçam e a aprendizagem ocorra. Não esquecendo que para uma prática pedagógica eficaz, se faz necessário um embasamento teórico.

Moreira (1999) propôs quatro tarefas fundamentais que facilitam a aprendizagem significativa, são elas:

1. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, isto é, identificar os conceitos e princípios unificadores, inclusivos, com maior poder explanatório e propriedades integradoras, e organizá-los hierarquicamente de modo que, progressivamente, abranjam os menos inclusivos até chegar aos exemplos e dados específicos.
 2. Identificar os subsunçores (conceitos, proposições, ideias claras, precisas, estáveis) relevantes à aprendizagem do conteúdo a ser ensinado, que o aluno deveria ter em sua estrutura cognitiva para poder aprender significativamente este conteúdo.
 3. Diagnosticar aquilo que o aluno já sabe; determinar, dentre os subsunçores especificamente relevantes (previamente identificados ao “mapear” e organizar a matéria de ensino), quais os que estão disponíveis na estrutura cognitiva do aluno.
 4. Ensinar utilizando recursos e princípios que facilitem a aquisição da estrutura conceitual da matéria de ensino de uma maneira significativa. A tarefa do professor aqui é a de auxiliar o aluno a assimilar a estrutura conceitual da matéria de ensino e organizar sua própria estrutura cognitiva nessa área de conhecimentos, por meio da aquisição de significados claros, estáveis e transferíveis.
- (MOREIRA, 1999, p. 162).

Além disso, Moreira (2012), enfatiza que o material só pode ser potencialmente significativo ou não significativo, pois o significado está nas pessoas e não nos materiais.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação de mestrado segue a linha defendida por Ausubel, no qual o aluno é o principal agente construtor de sua aprendizagem. Como a teoria propõe que os conhecimentos prévios dos alunos sejam valorizados, para que possam construir estruturas mentais utilizou-se como meio, mapas conceituais (que permitem descobrir e redescobrir outros conhecimentos), caracterizando assim, uma aprendizagem prazerosa e eficaz. Para identificar a ocorrência da aprendizagem significativa, aplicaram-se mapas conceituais iniciais para analisar os conhecimentos prévios e mapas conceituais no término da Sequência Didática para verificar a evolução do processo ensino-aprendizagem. A escolha de utilizar mapas conceituais foi por uma questão pessoal da aprendizagem adquirida no

curso do MNPEF, como uma forma de avaliação.

Na próxima subseção aborda-se o que é uma Sequência Didática e como elaborá-la.

1.1.2 Sequência Didática

Uma Sequência Didática (SD), é composta por atividades diversificadas, encadeadas de questionamentos, atitudes, procedimentos e ações que os alunos executam com a mediação do professor. Zabala (1998) a define como:

“um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (...)” (ZABALA,1998, p.18).

Na SD o professor vai organizar sistematicamente uma série de atividades buscando atingir a aprendizagem dos conteúdos selecionados de uma determinada unidade didática, mas antes de tudo é necessário que o professor tenha em mente quais os objetivos pretende-se alcançar juntamente com seus alunos. Para isso é muito importante planejar todo o trabalho conceitual, procedimental e atitudinal sempre levando em considerações para qual público o trabalho será aplicado.

Para elaborarmos ou mesmo analisarmos uma SD, devemos primeiramente questioná-la levando em conta as atividades existentes ou as que serão elaboradas, Zabala (1998).

Considerando a TAS, a SD deve conter atividades que:

- permitam determinar os conhecimentos prévios dos alunos;
- os conhecimentos propostos sejam significativos para os alunos;
- inferem o nível de conhecimento de cada aluno;
- que permitam criar zonas de desenvolvimento proximal e intervir (Vygotsky⁴);
- evoque um conflito cognitivo a fim de promover atividade mental relacionando o novo com os conhecimentos prévios;

⁴ Vygotsky: psicólogo pioneiro na realização de pesquisas na área do desenvolvimento da aprendizagem e do papel preponderante das relações sociais nesse processo, originando uma corrente de pensamento denominada Sócio Construtivismo. Segundo ele A Zona de Desenvolvimento Proximal é a distância entre o que o aluno já consegue fazer sozinho e o que passa a fazer após a mediação de um adulto (<http://blogdacarinedias.blogspot.com/2018/06/vygotsky-e-zona-de-desenvolvimento.html>).

- favoreçam o aluno a adquirir habilidades como o aprender a aprender (Paulo Freire ⁵);
- contribua para sua autonomia e autoconceito.

Na implementação de uma SD é importante que o educador se disponha a sair da sua área de conforto, pois esta é vinculada a uma nova forma de pensar a educação. Sendo necessário muito esforço, estudo, experimentações, coragem para inovar, divergir, arriscar e assumir desafios. Portanto, sua aplicabilidade com êxito, depende prioritariamente do compromisso do docente/educador em aprimorar seus conhecimentos teóricos e criar condições diversas que contribuam para um ensino significativo, crítico e transformador.

Ao aplicar uma SD, por mais que o educador esteja disposto e tenha preparo para esse trabalho, é importante ressaltar que qualquer conceito não pode ser concluído, ou totalmente compreendido, como afirmam Novak e Gowin (1983):

[...] os conceitos nunca são 'finalmente aprendidos', mas sim permanentemente enriquecidos, modificados e tornados mais explícitos e inclusivos à medida que se forem progressivamente diferenciando. (NOVAK e GOWIN, 1983, p.57).

Para elaborar a SD presente neste trabalho, sobre Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X, buscou-se abordar os conceitos de acordo como as orientações presentes nas Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná, na componente curricular Física. Também, constatar a presença dos conceitos na Proposta Pedagógica Curricular de Física da Instituição a ser aplicada.

Buscou-se relacionar as atividades com as reais necessidades dos educandos, levando em consideração os conhecimentos prévios dos alunos e as condições para aprendizagem significativa, pois segundo Zabala (1998):

[...]para compreender o valor educacional de uma sequência didática e as razões que a justificam, é necessário identificar suas fases, as atividades que a conformam e as relações que se estabelecem. A partir daí, pode-se introduzir mudanças ou atividades novas que a melhorem, tendo em vista atender às reais necessidades dos educandos (ZABALA, 1998, p.54)

A SD foi aplicada com estudantes da Terceira Série do Ensino Médio de uma

⁵ Paulo Freire: educador e Filósofo brasileiro, influenciador da pedagogia crítica. Para ele, aprender a aprender está relacionado a descoberta da melhor estratégia de aprendizagem, para que o processo de aprendizagem aconteça (Beck, 2017).

escola pública do Estado do Paraná, na qual se realizou um estudo mais detalhado sobre ondas eletromagnéticas em especial os Raios X. Buscando efetivar a aplicação desta SD foram realizadas atividades contemplando diversas metodologias e práticas pedagógicas, tais como: leituras; exposições; visualizações; escritas; experimentação e pesquisas bibliográficas; Raios X de objetos presentes no cotidiano; debates, seminários, mapas conceituais (apresentada na subseção seguinte, a 1.1.3); uso de tecnologias no espaço escolar, sendo o professor interlocutor e mediador das atividades propostas, favorecendo assim a aprendizagem significativa e buscando evidenciar o aluno como sujeito ativo e protagonista. Ressalta-se que, nos anos anteriores, o conteúdo era abordado superficialmente, apenas com o uso do livro didático público, na qual o aluno era apenas o receptor.

1.1.3 Mapas Conceituais

O mapa conceitual, criado na década de 1970 por Joseph Novak como técnica cognitiva para aprender de modo significativo, baseia-se na teoria de David Ausubel e constitui uma estratégia pedagógica potencialmente facilitadora para a construção de conceitos científicos pelos alunos, ajudando-os a integrar e relacionar informações, atribuindo, assim, significado ao que estão estudando.

De acordo com Moreira (2010):

[...]Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais, se for o caso. Isso também os diferencia das redes semânticas que não necessariamente se organizam por níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos. Mapas conceituais também não devem ser confundidos com mapas mentais que são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente..". (MOREIRA, 2010, p.1).

Em sua forma gráfica, os Mapas Conceituais são diagramas hierárquicos que tramam a organização e correspondência entre conceitos, que são apresentados por uma diferenciação progressiva (desdobramento de um conceito em outros que estão contidos) ou por uma reconciliação integrativa (relação de um conceito com outro aparentemente diferente).

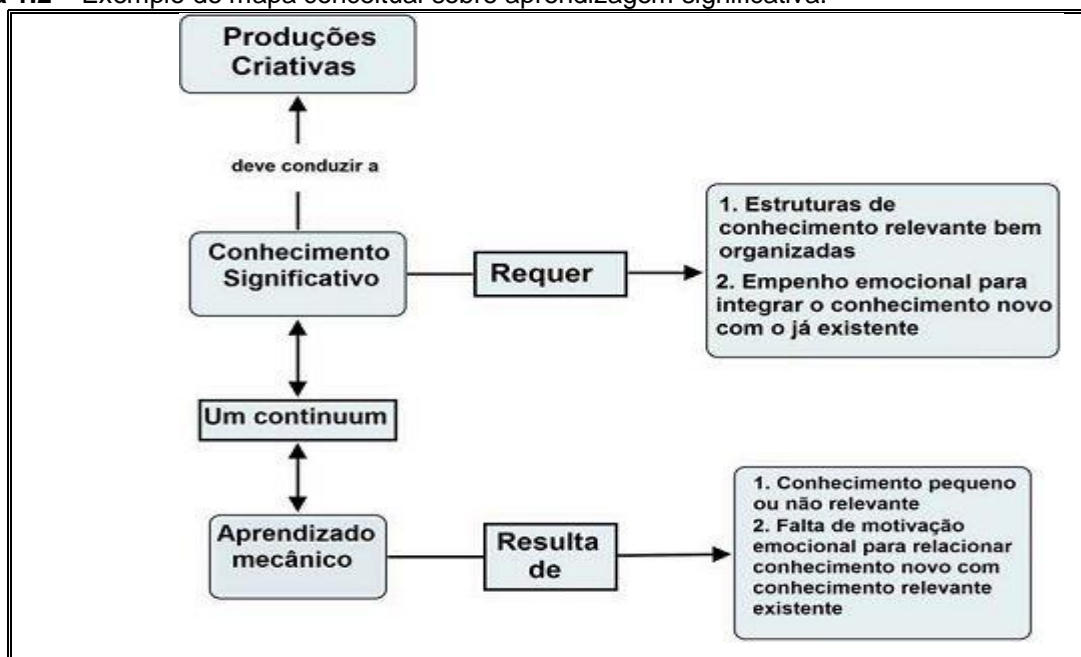
Ao elaborar o mapa conceitual, o aluno pode organizar seu conhecimento de maneira autônoma, retificando seu próprio raciocínio em função da construção do mapa.

Os mapas conceituais demonstram ser uma ferramenta adequada porque possibilitam ao aluno, (e ao professor também), o desenvolvimento de um processo cognitivo de aprendizagem em que ele próprio orienta a aquisição de novas informações, pois elas estarão diretamente relacionadas com a estrutura de conhecimento prévio.

Geralmente os mapas conceituais seguem um modelo hierárquico no qual conceitos mais inclusivos estão no topo (parte superior do mapa) e conceitos específicos, pouco abrangentes, estão na base (parte inferior). Este é apenas um modelo, o importante é que fique claro no mapa quais os conceitos contextualmente mais importantes e quais os secundários ou específicos. Setas podem ser utilizadas para dar um sentido de direção a determinadas relações conceituais, mas não são obrigatórias.

Na Figura 1.2, apresenta-se um mapa conceitual sobre aprendizagem significativa elaborado por Novak e Canãs (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?). Neste é possível observar os conceitos distribuídos e relacionados entre si.

Figura 1.2 – Exemplo de mapa conceitual sobre aprendizagem significativa.



Fonte Fonte: Novak e Canãs (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?). Disponível em: <<http://www.infoescola.com/pedagogia/mapas-conceituais-no-processo-de-ensino-aprendizagem-aspectos-praticos/>>

Além disso, o uso do mapa conceitual é muito flexível, pode ser um instrumento de análise do currículo, uma técnica didática, um recurso de aprendizagem, e um meio de avaliação. Também é possível, confeccionar um mapa conceitual para uma única

aula, para uma unidade de estudo, para um curso, ou, até mesmo, para um programa educacional completo. A diferença está na sua complexidade, no grau de generalidade dos conceitos colocados no mapa.

Acreditando que a ação docente precisa de mudanças, de práticas pedagógicas que abordem metodologias diferenciadas, tornando assim o ensino atraente e significativo, de modo que o aluno possa ser um sujeito capaz de aprender a ser, aprender a fazer, e aprender a aprender, o uso do mapa conceitual entra em choque com técnicas voltadas para aprendizagem mecânica. Utilizá-los em toda sua potencialidade implica atribuir novos significados aos conceitos de ensino, aprendizagem, e avaliação. Aparentemente simples e às vezes confundidos com esquemas ou diagramas organizacionais, mapas conceituais são instrumentos que podem levar a profundas modificações na maneira de ensinar, de avaliar e de aprender.

No presente trabalho de mestrado, o mapa conceitual foi utilizado como um instrumento avaliativo e também como um recurso de aprendizagem, pois serviu como um diagnóstico inicial e também comparativo. Apesar da sua utilização como um método avaliativo não ser uma prática comum e qualitativa, o uso do mapa permitiu observar como o aluno estruturou, organizou, hierarquizou, integralizou e relacionou conceitos sobre um determinado tema: Raios X.

Na próxima subseção, apresenta-se como a pesquisa/trabalho pode auxiliar o processo ensino e aprendizagem.

1.1.4 A Pesquisa/Trabalho como Princípio Educativo

O termo pesquisa pode ser compreendido como o ato somente de busca e leitura de um determinado assunto ou tema. Mas, no caso aqui abordado, o mesmo é mais profundo, é além de fazer uma busca sobre o assunto e ler, envolver o trabalho como princípio educativo.

O trabalho como princípio educativo é visto como a ação humana de interação com a realidade para satisfação das necessidades e produção de liberdade. Portanto, o trabalho é produção, criação e realização humana.

O reconhecimento da Pesquisa/Trabalho como aliada ao processo de ensino e aprendizagem foi destacado por Pedro Demo (2004), com um contundente discurso em favor da pesquisa/trabalho como princípio educativo e científico. Para o autor:

{...} a pesquisa como todo processo formativo, baseia-se na habilidade de dentro para fora do aluno, cuja iniciativa é constitutiva do processo, permanecendo o professor como orientador e avaliador; aprende-se que conhecer é basicamente questionar, não afirmar, constatar, verificar; aprende-se a ler autor para se tornar autor; aprende-se a argumentar, deixando de lado o argumento de autoridade e construindo a autoridade do argumento; aprende-se a convencer sem vencer (DEMO, 2004, p.18).

Desta forma, o conhecimento vai sendo construído de forma interativa, não como algo estático, que não é possível de ser transmitido. Ao contrário, o processo de “conhecer” apresenta-se como descoberta, como uma construção coletiva, que deve estar relacionado diretamente com a prática e a sistematização crítica do pensamento. É um processo dinâmico. Conforme essa concepção, a educação torna-se um processo de conhecimento, em que todos ensinam e todos aprendem diferente da concepção bancária em que a educação é um processo de transmissão de informações, meramente instrutiva.

Assim, na SD proposta neste trabalho, a Pesquisa/Trabalho se faz presente com o objetivo de proporcionar ao educando uma maior autonomia e significado na seleção de materiais relacionados aos conceitos abordados.

A próxima subseção abordará a importância do uso de Tecnologias Educacionais como ferramentas de ensino.

1.1.5 Uso de Tecnologias Educacionais “*Mobile Learning*” e o Acesso Remoto

As tecnologias educacionais remetem ao emprego de recursos tecnológicos como ferramentas que contribuem no processo ensino aprendizagem. É usar a tecnologia de modo que promova mais desenvolvimento sócio educativo com acesso à informação. Com o uso das tecnologias educacionais é possível melhorar a aproximação aluno e professor, também é possível proporcionar ao aluno uma maior motivação, já que atualmente vivem imersos nas tecnologias interativas.

Mobile learning ou *m-learning*, é uma modalidade de ensino a distância que se apropria de dispositivos móveis para a realização de atividades educacionais (Carvalho, 2016). Na prática, trata-se do uso de aparelhos, como *smartphones*, celulares e *tablets* para estudar conteúdos otimizados para tais plataformas.

A tecnologia antes vista como algo que tirava o sujeito do convívio social e do contato coletivo, torna-se cada vez mais presente, ambientes tornam-se individualizados, mas não individualistas.

Os dispositivos, os aplicativos e suas interfaces podem ser cada vez mais

customizados e personalizados. Os ambientes ganham fotos, perfis criando uma atmosfera mais humanizada, representando um ponto muito positivo para a prática pedagógica centrada no aluno. Com esse objetivo a SD faz uso do “*m-learning*” e do acesso remoto.

O acesso remoto é uma tecnologia que permite que um computador consiga acessar um servidor por meio de outro computador, sem que os mesmos estejam conectados fisicamente entre si por meio de cabos, mas sim conectados via rede.

A tecnologia via acesso remoto é muito aplicada para suporte técnico de *softwares*, em diversas áreas, principalmente em empresas, a conexão à distância é feita com segurança de dados em ambos os lados, utilizando ferramentas adequadas é possível acessar computadores com qualquer sistema operacional, em qualquer rede a partir de *smartphone*, *tablet* ou *desktop* conectado. É possível ter permissões para manipular máquinas sem estar diante de um computador, conectar servidores de empresas, compartilhar informações, fazer manutenções, entre outros.

A maneira mais comum de usar o acesso remoto é por meio de uma Rede Privada Virtual (VPN, acrônimo do inglês) que estabelece uma ligação direta entre o computador e o servidor de destino. O usuário pode entre outros, acessar documentos, *e-mails* sem preocupação de ser interceptado por outras redes. A partir de dispositivos móveis, via acesso remoto, é possível acompanhar tudo o que acontece em uma máquina, controlar as funções e até desligá-la de qualquer lugar.

Na SD proposta neste trabalho de mestrado, o acesso remoto foi necessário para realização da atividade experimental, pois o laboratório que possui o equipamento de Raios X acessado encontra-se aproximadamente a cem quilômetros de distância. Esse recurso permite ampliar o campo de possibilidades dos usuários, facilitando o compartilhamento de dados, a comunicação e integração de atividades.

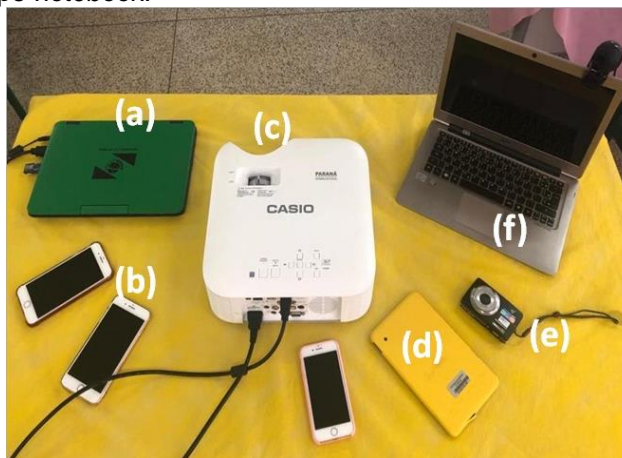
Para o acesso remoto é necessário um *software*⁶, programa para intermediar, o escolhido foi o *Team Viewer*⁷ por ter versões gratuitas e também ter versões para Android® e iOS®, com recursos completos de acesso remoto ao *desktop* e controle de máquina. Graças a esse *software* é possível cadastrar vários computadores e controlá-los à distância sem problemas, via conexão WiFi ou mesmo 3G.

A Figura 1.3 ilustra os diferentes recursos utilizados para realizar o acesso remoto.

⁶ Conforme OGIBOSKI (2007), é importante o uso de softwares livres para o acesso de laboratórios de forma remota para a realização de experimentos didáticos.

⁷Disponível no site:<<https://www.teamviewer.com/pt-br/>>.

Figura 1.3 – Fotografia contendo imagens de materiais de fácil acesso (tanto para os alunos e professores, como para a escola). Sendo: (a) computador portátil do tipo *net-book*; (b) *smartphones* do tipo Android® ou iOS®; (c) projetor multimídia – *Datashow*; (d) *tablet*; (e) câmera fotográfica (f) computador portátil do tipo *notebook*.



Fonte: arquivos da autora.

1.2 Referencial Teórico – Aspectos Físicos

Nesta seção será apresentada uma revisão da Física envolvida no contexto dos Raios X, contendo os principais fatos históricos considerados importantes para a contextualização do assunto. Em aspectos relacionados à pesquisa científica, têm-se várias formas de se trabalhar com esse assunto, dependendo do que se deseja analisar. Assim, para contextualizar os Raios X como uma faixa da radiação eletromagnética esta seção foi dividida em duas partes principais: ondas eletromagnéticas e os fenômenos ondulatórios, e o Raios X: da descoberta às aplicações, em destaque o Síncrotron (LNLS e o SIRIUS).

1.2.1 Ondas Eletromagnéticas e os Fenômenos Ondulatórios

Segundo Nussenzveig (2002), num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro em um meio com velocidade definida. As ondas podem ser mecânicas, sonoras ou eletromagnéticas. As mecânicas e sonoras precisam de um meio material para se propagar, enquanto que as ondas eletromagnéticas podem se propagar também no vácuo.

As ondas eletromagnéticas foram descritas matematicamente pelo físico escocês James Clerk Maxwell, no século XIX. Ele se baseou nas equações dos cientistas: Coulomb, Ampère, Gauss e Faraday, dando a elas uma nova visão e formando um conjunto de quatro equações que demonstram a interação entre o campo elétrico e o campo magnético, e suas relações com a tensão e a corrente elétrica. Estas equações

passaram a ser conhecidas como as equações de Maxwell e são à base do eletromagnetismo.

Cada uma dessas equações de Maxwell foi determinada empiricamente, e podem ser representadas de três formas. Uma conhecida como a forma integral, a segunda como diferencial, e a terceira como tensorial. Isso porque a primeira envolve integrais, a segunda derivadas, e a terceira tensores (nesta forma, as 4 equações são representadas por duas e é estudada ao introduzir a teoria relativística (Reitz, Milford e Christy, 1982)). No Quadro 1.2, apresentam-se no contexto de cada lei do eletromagnetismo, as formas integral e diferencial que são as apresentadas em nível de graduação.

Quadro 1.2 – Equações de Maxwell – formas integrais e diferenciais. Em que: \vec{E} é o campo elétrico gerado, \vec{B} o campo magnético, ϵ_0 a permissividade no vácuo, μ_0 permeabilidade magnética no vácuo, Φ_E representa o fluxo elétrico, Φ_B fluxo magnético, t o tempo e i_c todas as correntes envolvidas. E, na forma diferencial ρ é termo de densidade de carga e \vec{j} da densidade de corrente.

Equações de Maxwell	
Nas equações a seguir consideramos: $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r}, t)$ e $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}, t)$	
Lei de Gauss Elétrica	
Forma Integral $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss Magnética	
Forma Integral $\oint \vec{B} \cdot \hat{n} dA = 0$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Lei de Ampère– Maxwell	
Forma Integral $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \frac{\epsilon_0 d\Phi_E}{dt} \right)$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
Lei de Faraday – Lenz	
Forma Integral $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Fonte: adaptado da referência <<https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas-eletromagneticas-e-luz/equacoes-de-maxwell/709>>.

Analisando cada uma delas:

1º- Lei de Gauss para a eletricidade: a primeira das quatro equações foi proposta primeiramente pelo matemático alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Esta equação, observada na forma integral, relaciona o fluxo do campo elétrico

(Φ_E) numa superfície fechada (dA) com cargas no seu interior, relacionando os campos elétricos ($\vec{E}(\vec{r}, t)$) e suas fontes às cargas elétricas (q), e pode ser aplicada mesmo para campos elétricos variáveis com o tempo. Esse termo de fonte na representação diferencial é a densidade de carga $\rho(\vec{r}, t)$.

2º - Lei de Gauss para o magnetismo: esta segunda equação equivale a da primeira lei, mas aplicável aos campos magnéticos ($\vec{B}(\vec{r}, t)$). Como no caso do campo magnético não existem monopolos magnéticos, o fluxo (Φ_B) através de qualquer superfície fechada (dA) é nulo, conforme pode ser observado na forma integral. De acordo com essa lei, as linhas de campo magnético são contínuas, diferente das linhas de força de um campo elétrico que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas.

3º - Lei de Ampère - Maxwell: a lei de Ampère descreve a relação entre um campo magnético ($\vec{B}(\vec{r}, t)$) e a corrente elétrica (i) que o origina. A equação define a integral de linha do campo magnético em qualquer curva fechada. Também estabelece que um campo magnético é sempre produzido por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável no tempo. Este último previsto por Maxwell, pois se um campo magnético variável no tempo induz uma corrente elétrica (i), e conseqüentemente um campo elétrico, então um campo elétrico ($\vec{E}(\vec{r}, t)$), variável no tempo, deve induzir um campo magnético ($\vec{B}(\vec{r}, t)$). No caso diferencial, $\vec{J}(\vec{r}, t)$ é o termo da densidade de corrente.

4º - Lei de Faraday-Lenz: essa quarta equação descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético ($\vec{\Phi}_B(\vec{r}, t)$) variável no tempo. Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos do tipo rotacionais.

Unindo a força de Lorentz⁸ (Eq. [1.1]), que representa a superposição de duas forças, a gerada pelo campo elétrico e a pelo campo magnético, que atuam sobre uma partícula de carga (q) que se move com velocidade \vec{v} na presença de campo magnético,

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad [1.1]$$

com as 4 equações de Maxwell, têm-se a base do eletromagnetismo e

⁸ Hendrik Antoon Lorentz, escreveu esta lei em 1892, que denominou de força ponderomotiva. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_de_Lorentz. Acesso: 29/02/2020.

consequentemente da óptica clássica. Essa força é importante, pois se aplica no funcionamento dos cíclotrons, raios catódicos, espectrômetros de massa, canhões elétricos, entre outros.

Ainda das equações de Maxwell, podemos obter as equações de onda relacionadas a uma onda eletromagnética. Aplicando o rotacional na Lei de Faraday-Lenz na forma diferencial:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla} \times \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}).$$

Utilizando a propriedade do rotacional no lado esquerdo: $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{E}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E}$ dessa equação:

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}).$$

Considerando uma situação em que a fonte esteja distante $\rho(\vec{r}, t) = 0$, e como a primeira das equações de Maxwell informa que $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} = 0$, fica-se com a equação: $-\nabla^2 \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B})$, ou

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{B}). \quad [1.2]$$

Usando a Lei de Ampère-Faraday, para a situação “sem” fonte ($\vec{J}(\vec{r}, t) = \vec{0}$):

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},$$

a Eq. [1.2] fica escrita somente em termos do campo elétrico:

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right),$$

reescrevendo-a:

$$\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \nabla^2 \vec{E} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) = \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}. \quad [1.3]$$

E, definindo $c^2 = 1/\mu_0 \epsilon_0$:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{E} = 0. \quad [1.4]$$

Uma equação análoga pode ser obtida para o campo magnético, utilizando a Lei de Ampère-Faraday: $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$, considerando o termo de fonte nulo (fonte distante) e aplicando o rotacional $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{B}) = \vec{\nabla} \times (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$. Utilizando a propriedade do rotacional no lado esquerdo da igualdade, temos que: $\vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - \nabla^2 \vec{B} = \vec{\nabla} \times (\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} (\vec{\nabla} \times \vec{E})$. Considerando a equação da não existência de monopolos magnéticos ($\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$) e a equação da Lei de Faraday-Lenz: $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$, obtém-se que:

$$-\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right).$$

Portanto, $\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \nabla^2 \vec{B} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right)$, e temos a equação da onda para o caso “sem” fonte, para o campo magnético. Usando a definição de que $c^2 = 1/\mu_0 \epsilon_0$:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} - \nabla^2 \vec{B} = 0. \quad [1.5]$$

Reescrevendo as equações de onda (Eq. [1.4] e [1.5]) no sistema cartesiano⁹:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 E_y(x, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 E_y(x, t)}{\partial x^2} = 0, \quad \text{e} \quad \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 B_z(x, t)}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 B_z(x, t)}{\partial x^2} = 0. \quad [1.6]$$

Com soluções do tipo, considerando a parte real:

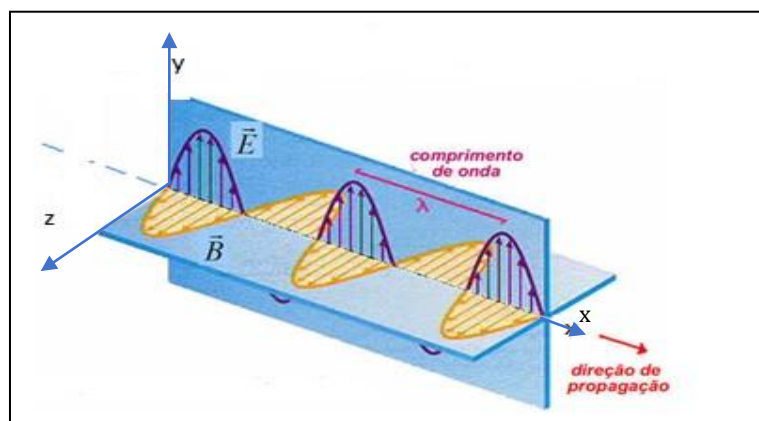
$$E_y(x, t) = E_m \text{sen}(kx \pm \omega t) \quad \text{e} \quad B_z(x, t) = B_m \text{sen}(kx \pm \omega t). \quad [1.7]$$

Em que: E_m e B_m são as amplitudes máximas dos campos elétricos e magnéticos, respectivamente, na direção e sentido de cada oscilação, k é o módulo do vetor de onda e ω é a frequência angular.

Portanto, os conceitos fundamentais para compreensão das ondas eletromagnéticas, primeiramente deve-se ter bem claro que essas são compostas por campo elétrico e magnético, simultâneos que oscilam em planos diferentes, perpendiculares entre si, representados pelas Equações [1.7] e ilustrados na Figura 1.4.

⁹ $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$.

Figura 1.4 – Representação de uma onda eletromagnética transversal – apresentação dos campos elétrico (\vec{E}) e magnético (\vec{B}). As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: adaptada da referência: <<https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504304&chapterid=2717>>.

Assim, Maxwell provou que a luz é uma onda eletromagnética e que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). Todas estas contribuições, o tornou tão importante para o Eletromagnetismo quanto Isaac Newton é para a Mecânica Clássica.

Segundo Albert Einstein e a Teoria da Relatividade, a máxima velocidade alcançada por uma onda eletromagnética é c . O seu valor pode ser calculado, como definido para obter a equação da onda, pela Equação [1.8]:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}. \quad [1.8]$$

O termo μ_0 na Eq. [1.8] representa a permeabilidade magnética no vácuo dada por: $4 \pi \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, e ϵ_0 é a constante de permissividade no vácuo dada por:

$$\approx 8,85418782 \times 10^{-12} \frac{\text{A}^2 \text{s}^4}{\text{Kg m}^3}.$$

O comprimento de onda, representado por λ , indicado na Figura 1.3, é a distância espacial que separa dois pontos consecutivos de uma onda que tem a mesma configuração espacial. Os pontos mais altos são denominados de crista e os pontos de depressão são denominados de vales.

As ondas eletromagnéticas apresentam algumas propriedades em comum que sempre podem ser observadas, são elas:

- Os campos, elétrico e magnético, são perpendiculares entre si, bem como à direção de propagação da onda;

- Os campos variam sempre na mesma frequência (f) e estão em fase.
- A sua velocidade de propagação é igual à velocidade constante da luz no vácuo “ c ” ($c \approx 299.792,458 \text{ km/s} \approx 300.000 \text{ km/s} = 300.000.000 \text{ m/s}$), e pode variar dependendo do meio em que se propaga.

A equação [1.9] ilustra a relação entre o comprimento de onda (λ), velocidade da luz (c) e frequência (f) de oscilação da onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} . \quad [1.9]$$

As ondas eletromagnéticas têm características especiais que as diferem das ondas mecânicas (ex. numa corda, ou em uma mola) ou das ondas sonoras, pois, não necessitam de um meio de propagação que dê suporte a elas. Por outro lado, alguns aspectos são comuns a todas as ondas, como a possibilidade de transferir energia de um ponto a outro sem transferência de matéria (Machado, 2006).

Elas apresentam uma grande relevância, tanto no meio científico quanto no meio tecnológico. Diariamente, estamos interagindo com algum tipo de onda eletromagnética, sejam por uso de celulares, exames médicos, em aeroportos, com radiações nucleares, entre outros, ou naturalmente, a luz solar (radiação ultravioleta, infravermelho, faixa do visível, dentre outras).

Além disso, Max Planck, em 1900, deu início à chamada Física Quântica, com seus postulados sobre a radiação de corpo negro. E, Albert Einstein, em 1905, revolucionou os conhecimentos da Ciência lançando a Teoria da Relatividade e o Efeito Fotoelétrico, abrindo caminho para o maior desenvolvimento científico da história. Com isso, as equações de Maxwell podem ser consideradas o marco final da chamada Mecânica Clássica.

Na subseção seguinte aborda-se um estudo detalhado sobre o espectro das ondas eletromagnéticas, dando ênfase para a visualização na faixa em que está situada a radiação de Raios X. Bem como, quais os outros tipos de radiação fazem parte deste espectro.

1.2.1.1 Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação de ondas eletromagnéticas com relação a sua frequência (f) ou comprimento de onda (λ). Pode

ser organizado e representado em ordem crescente do comprimento de onda. Também conhecido como uma escala de radiações eletromagnéticas, e são identificados por regiões, conforme apresentado na Tabela 1.1, com valores aproximados de comprimento de onda, frequência e energia para regiões selecionadas.

Tabela 1.1 - Espectro da radiação eletromagnética. Apresentação dos sete tipos de radiações eletromagnéticas, bem como, o comprimento de onda (λ) (medido em Angstroms (\AA) e centímetros (cm)); frequência, f , em Hertz (Hz) e, energia, E , (medida em eletrovolts (eV)).

Espectro de Radiação Eletromagnética				
Região	λ (\AA)	$\lambda(cm)$	$f(Hz)$	$E(eV)$
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 310^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 10^{-2}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 10^{-2}$
Infra-vermelho	$10^6 - 7 \times 10^3$	$10^{-2} - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4,3 \times 10^{14}$	$10^{-2} - 2$
Visível	$7 \times 10^3 - 4 \times 10^3$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{14} - 7,5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4 \times 10^3 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7,5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios X	$10 - 0,1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	$< 0,1$	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

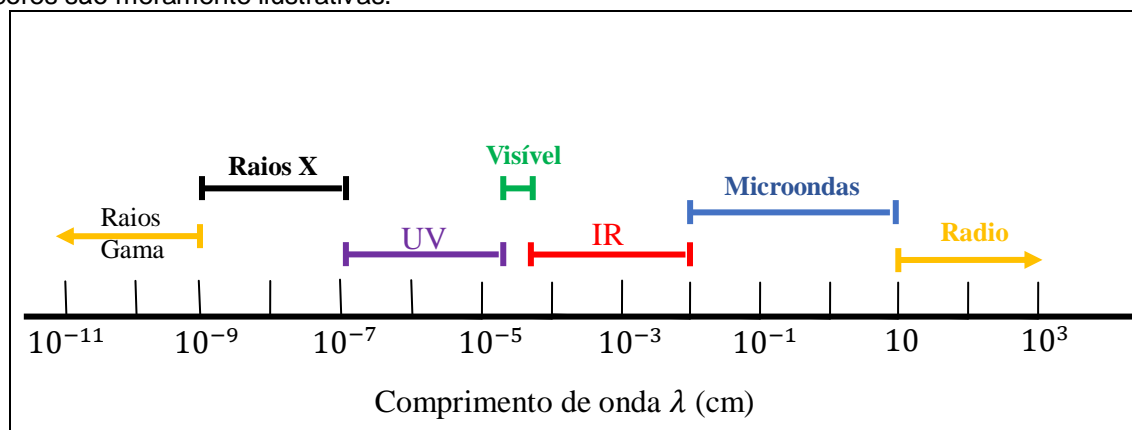
Fonte: adaptada da referência Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>.

Portanto, no espectro eletromagnético são representados, para melhor visualização na Figura 1.5, os sete tipos de ondas de radiação eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, Raios X e Raios Gama.

As ondas se propagam à velocidade da luz (c) e, com exceção da luz visível, são todas invisíveis a olho nu.

Essas ondas previstas por Maxwell, em 1873, foram confirmadas experimentalmente por Heinrich Hertz, em 1888, por meio de aparelhos emissores e detectores de Radio. Conforme ilustrado na Figura 1.5, este faz parte do espectro de ondas eletromagnéticas que tem o maior comprimento de onda, sua faixa variando de 10 a $10^3 cm$.

Figura 1.5 – Representação do limite do espectro eletromagnético. Esquemática dos valores numéricos dos comprimentos de onda (λ) em cm em cada região, bem como, a abrangência do mesmo. As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: adaptada da referência do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cau/espec/intro.htm>>

Há também o espectro de luz visível, que pode ser subdividido de acordo com a cor, o vermelho nos comprimentos de onda longos e violeta para os comprimentos de onda mais curtos, conforme ilustrado, esquematicamente, na Figura 1.6. O original da figura usa um acrônimo para lembrar a ordem das cores, sendo esse a sequência nas iniciais das cores na língua inglesa: ROY G BV (um acrônimo para a sequência de matrizes comumente descrita constituindo o arco-íris)¹⁰. Mas no lugar de um acrônimo há na literatura¹¹ em português uma regra mnemônica – “**Vamos LÁ, Vamos Avançar**”.

Figura 1.6 – Representação esquemática da sequência de cores do espectro visível, e a regra mnemônica utilizada para lembrar a sequência das cores.



Fontes: adaptado das referências <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>> e <<https://pt.wikihow.com/Lembrar-as-Cores-do-Arco-%C3%8Dris>>.

Contextualizado a faixa em que se encontram os chamados Raios X (10^{-9} a 10^{-7} cm), que não é visível aos olhos como o espectro do visível¹² apresentado

¹⁰ Apresentação das regiões red = vermelho; orange = alaranjado; yellow = amarelo; Green = verde; blue = azul e Violet = violeta.

¹¹ Disponível no site: <<https://pt.wikihow.com/Lembrar-as-Cores-do-Arco-%C3%8Dris>>.

¹² Sendo esta a faixa em que se formam o arco Iris na decomposição da luz do Sol ao incidir nas gotas de chuva. Este fenômeno da natureza ocorre devido aos efeitos de refração e reflexão da luz.

na Figura 1.5, apresenta-se na próxima subseção a propriedade das ondas denominada de difração.

1.2.1.2 Difração

Para compreender o fenômeno da difração nesta subseção será apresentada para a luz, a onda eletromagnética na faixa do visível (Figura 1.4).

A luz de acordo com a Óptica Geométrica apresenta os fenômenos de reflexão e refração, baseado no princípio de propagação retilínea. Contrariando este princípio, via Óptica Física, a luz ainda é capaz de contornar obstáculos¹³ colocados em sua trajetória, esse fenômeno é denominado de difração.

Fenômeno esse descrito e publicado pelo físico e padre jesuíta Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), em meados do século XVII, denominado por ele de “*Diffraction*”. Conforme citado por Bassalo (1995):

“Em 1665, no livro *Physico-Mathesis de Lumine, Coloribus et Irade* publicado após sua morte, o físico Italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663) descreveu algumas experiências nas quais mostrou que a propagação da luz pode se realizar de uma quarta maneira (além das três tradicionalmente conhecidas a sua época: reflexão, refração e difusão) denominada por ele, então de **difração**”. Sua convicção a respeito desse novo fenômeno foi tão grande que o apresentou como proposição I desse seu livro e, a partir daí, passou a relatar algumas experiências que realizou explicando-as por intermédio desse novo fenômeno físico que acabara de descobrir. Na descrição de uma dessas experiências, Grimaldi demonstrou que se um feixe de luz branca passar através de dois estreitos orifícios, situados um atrás do outro, e em seguida atingir um anteparo branco, haverá neste uma região iluminada além da que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta. É como se a luz se “encurvasse” ao passar pelos orifícios, afirmou Grimaldi. (BASSALO, 1995, p. 294).

Todos os sistemas ondulatórios sejam elas ondas sonoras, eletromagnéticas ou mecânicas, possuem este fenômeno.

A difração ocorre toda vez que uma porção de uma frente de onda é obstruída de alguma maneira. O que ocorre, é que ao encontrar um obstáculo os vários segmentos da frente de onda sofrem alterações de amplitude ou fase, tais que, ao se propagarem após o obstáculo, sofrem interferência ocasionando uma distribuição particular de energia que é conhecida como espectro de difração ou figura de difração.

Nem sempre observamos a difração da luz em nosso cotidiano, mas esse fenômeno se faz presente, um exemplo é a difração das ondas sonoras, o som

¹³ Como exemplo, pode-se citar a incidência de um feixe de luz laser em um fio de cabelo esticado, como apresentado na referência de Oliveira (2015).

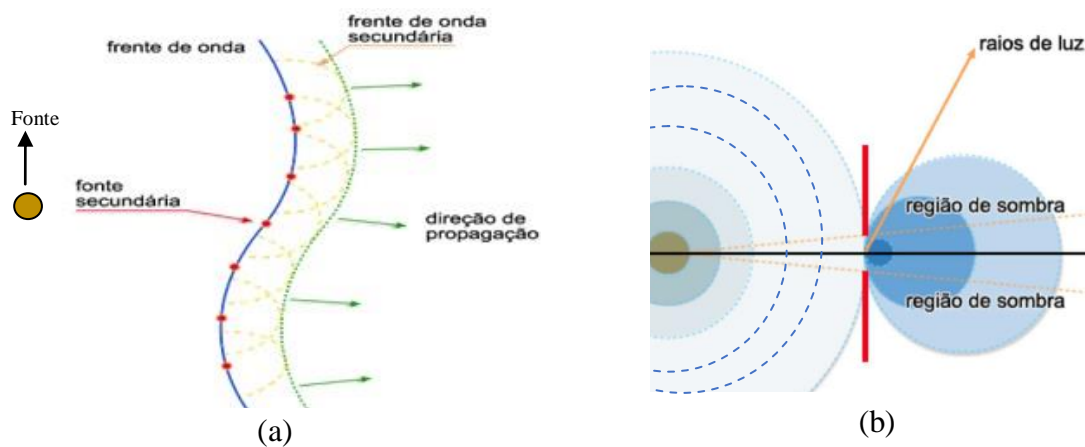
contorna diversos obstáculos de tamanhos diversos, tais como pessoas, árvores e móveis situados em determinado ambiente.

O que diferencia a difração do som do da luz são os seus respectivos comprimentos de onda. O comprimento de onda do som é da ordem de 1 m , enquanto que o da luz visível é da ordem de 500 nm ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$).

As ondas eletromagnéticas utilizadas na transmissão de sinais para rádio, televisão e telefonia móvel apresentam comprimentos de onda que variam entre algumas dezenas de centímetros até alguns quilômetros, essas, dependendo do caso, contornam facilmente obstáculos como árvores e carros e até prédios.

No caso da luz visível, de acordo com o princípio de Huygens proposto por Christiaan Huygens no século XVII (1678), esquematizado na Figura 1.7 (a), cada ponto de uma frente de ondas comporta-se como um centro emissor de ondas esféricas com a mesma frequência da fonte original.

Figura 1.7 – Esquematização do Princípio de Huygens (a) para a construção geométrica de uma frente de onda, a partir de uma frente de onda anterior. (b) ilustração de uma frente de onda esférica indicando as regiões de sombra após a fenda.



Fonte: figuras adaptadas da referência (Zilio, 2007), disponível em: <http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/difracao/huygens/>.

Nesse caso, quando a onda eletromagnética (raio de luz) incide a fenda (obstáculo de dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz incidente) é como se ocorresse um espalhamento causado devido a essa interação, ou seja, o raio segue uma trajetória que não obedece às leis da óptica geométrica, pois é desviado sem haver mudanças no índice de refração do meio, provocando uma perturbação, conduzindo-a para locais que não deveria ser detectada normalmente, que são as regiões de sombra, conforme ilustrado na Figura 1.7 (b), (Zilio, 2007).

Mas estes fatos não foram suficientes para explicar o efeito da difração. Fresnel em 1816 impôs regras sobre a fase e a amplitude de ondas secundárias, justificando assim, ambos os comportamentos, a da linearidade da propagação e as das propriedades da luz como uma onda, passando assim a ser conhecida como o princípio de Huygens-Fresnel. Conforme citado pelos autores da apostila da disciplina de Física Experimental IV da USP (FAP-214, 2006):

O princípio de Huygens-Fresnel diz que qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases (FAP-214, 2006, p. 2).

Os cientistas deste século defendiam ideias distintas, Isaac Newton defendia a teoria corpuscular da luz e Christiaan Huygens defendia a teoria ondulatória da luz. Esses pensamentos distintos sobre a dualidade da luz, também era questionado com relação aos Raios X, questionavam se o mesmo era constituído de partículas ou apenas energia.

Então, em 1905, Einstein “vê” a luz composta por partículas denominadas de fótons para explicar o Efeito Fotoelétrico. Os fótons são minúsculas partículas elementares que possuem energia e são mediadoras do efeito fotoelétrico. Suas características são: partícula não massiva, não possui carga, e viaja com a velocidade da luz (c).

No efeito fotoelétrico os elétrons são emitidos de uma superfície metálica quando exposto por uma radiação eletromagnética alta, como a UV. No caso, é considerada a energia da radiação incidente, isto é a energia do fóton, como:

$$E = h\nu \quad [1.10]$$

A Eq.[1.10] informa que E , a energia do fóton, é proporcional a ν , a frequência do fóton. Sendo a constante de proporcionalidade h a constante de Planck.

Logo, os estudos da difração da luz com a matéria em nível atômico permitiram descrever os princípios da Mecânica Quântica. No caso da difração dos Raios X eles são mais difíceis de serem observados porque apresentam comprimentos de onda muito menores, variam de 1 a 100 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$), ou seja, da mesma ordem de grandeza das distâncias interatômicas.

Max von Laue, em 1912, concebeu a possibilidade de realizar difração de Raios X utilizando uma estrutura cristalina como rede de difração tridimensional (cristalografia). As primeiras experiências foram realizadas por dois alunos de Laue, Walter Friedrich e Paul Knipping que fizeram um feixe de Raios X atravessar um cristal, resultando no fenômeno de interferência igual ao da Luz, assim concluíram que os Raios X eram ondas eletromagnéticas. Laue foi laureado¹⁴ com o prêmio Nobel de Física, por ter descoberto o fenômeno da difração de Raios X em cristais no ano de 1914.

Logo depois, William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg demonstraram a relação que passou a ser conhecida como lei de Bragg, fundamental para o estudo de estruturas cristalinas com o uso da difração de Raios X.

Esse processo de difração ocorre quando a radiação eletromagnética de comprimento de onda comparado à distância entre dois planos de átomos é refletida especularmente por planos consecutivos. Conforme apresentado na Figura 1.8 (b), um feixe de Raios X incide sobre um conjunto de planos cristalinos, cuja distância interplanar é d (representado na Fig. 1.8 (a) em uma rede cúbica). A diferença do caminho óptico entre os feixes é dada por $2 d \sen \theta$ obtido em destaque na Fig. 1.8 (c).

O ângulo de incidência θ é conhecido como ângulo de Bragg. Quando os máximos e mínimos de uma onda coincidem com os máximos e mínimos da outra dizemos que as ondas estão em fase, conforme indicado em azul na Figura 1.8. Para que isso ocorra, a diferença de caminho óptico ($2 d \sen \theta$) da onda tem que ser um número inteiro.

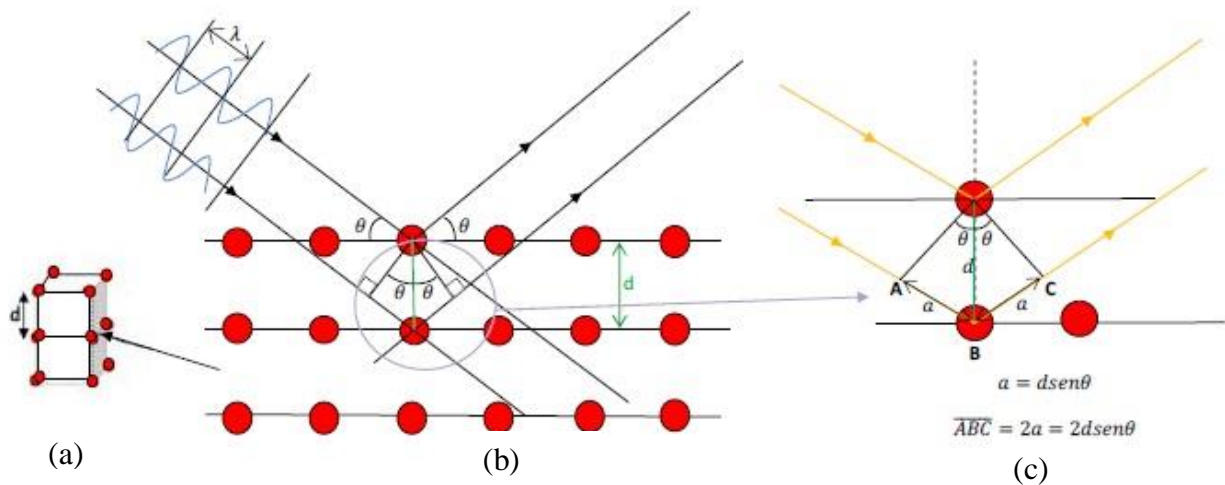
Dizemos que a Lei de Bragg é satisfeita de acordo com a Equação [1.11]

$$n\lambda = 2d\sen\theta, \quad [1.11]$$

em que λ é o comprimento de onda da radiação utilizada, e n é um número inteiro. Logo, quando a diferença entre seus caminhos ópticos for um número inteiro n , de comprimentos de onda λ , as ondas refletidas interferem entre si de forma construtiva (em fase) ou destrutivas (defasadas) e geram os padrões de difração que podem ser detectados ou registrados em um filme.

¹⁴ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Max_von_Laue>.

Figura 1.8 – Ilustração da representação da luz difratada: (a) de uma rede cúbica com distância d entre os planos, (b) da dispersão de Bragg sendo representado em duas dimensões, λ indica o comprimento de onda da onda incidente/difratada, θ o ângulo da onda incidente com o plano, que é igual ao da onda incidente/difratada, d a distância entre planos, e em destaque em (c) a diferença de caminho óptico $\overline{ABC} = 2d\text{sen}\theta$.



Fonte: adaptado da referência <<http://www.geocities.ws/raioxusp/aula2/aula2.html>>.

William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg foram laureados com o Nobel em Física no ano de 1915, pela Lei de Bragg, fundamental para o estudo de estruturas cristalinas com o uso da difração de Raios X. Sendo William, então com 25 anos de idade, o mais jovem cientista a receber tal prêmio¹⁵ até os dias atuais.

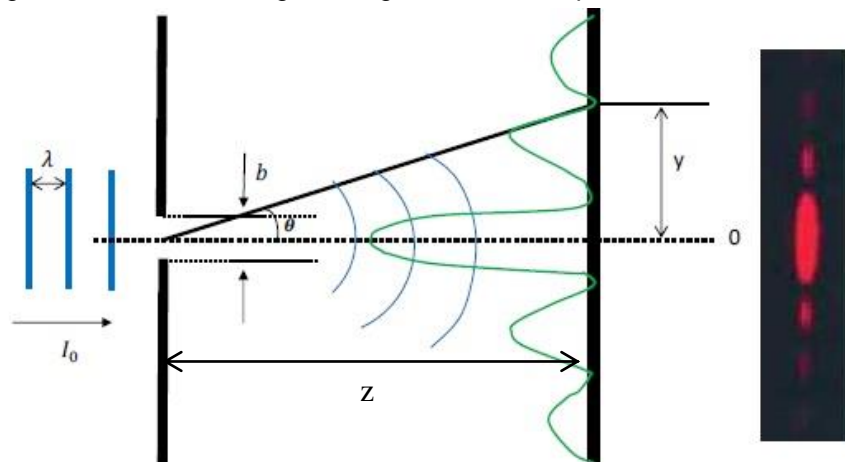
Para compreender melhor o fenômeno de difração, apresenta-se o experimento da fenda simples e dupla. Estes são apresentados do ponto de vista da Óptica Física.

A difração por uma fenda simples (fina) deve apresentar uma fenda aproximada do valor do comprimento de onda da onda incidente, para que assim ocorra uma difração acentuada. Tratando-se de ondas eletromagnéticas, seus comprimentos variam, e no caso da luz visível é da ordem de 10^{-7} m . Independente da forma da onda incidente, quando a “largura” da fenda for muito menor que o comprimento de onda, a onda difratada terá simetria esférica.

A difração pode ser observada com uma montagem experimental simples, conforme ilustrada na Figura 1.9, em que um feixe de luz monocromática, com comprimento de onda λ passa por uma fenda de largura b e atinge um anteparo a uma distância z .

¹⁵ Fonte:<https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Lawrence_Bragg>.

Figura 1.9 – Representação do fenômeno de difração de uma luz monocromática no experimento de fenda simples. Em que, I_0 é a intensidade da frente de onda que chega a fenda, b a abertura da fenda, θ o ângulo de difração, e y indica um ponto de mínimo de intensidade com relação ao centro. O padrão observado é a imagem semelhante à imagem fotográfica à direita, partes claras e escuras.



Fonte: adaptado das referências: Instituto de Física Unicamp e da USP, disponível em <https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/> e <http://plato.if.usp.br/1-2004/fap0181d/LAB5.htm>

O feixe de luz incidente tem frentes de onda planas, estão paralelos à fenda, e a distância z é suficientemente grande para considerar planas também as frentes de onda que chegam ao anteparo. A posição dos pontos de mínimo em relação ao centro ($\theta_{max,0}$) é representado por y , no caso, da Figura 1.9, o segundo ponto de mínimo ($\theta_{min,2}$). As ondas originárias em cada ponto da abertura interferem entre si e produzem um padrão de difração, como o ilustrado à direita na Figura 1.9.

Na difração, quanto menor a largura da fenda e maior o comprimento de onda, maior é o espalhamento ou alargamento causado pela difração.

As ondas originadas em cada ponto são chamadas de ondas de Huygens, e é possível observar, mais claramente na imagem fotográfica à direita na Figura 1.9, um máximo central em cor vermelha alternada por pontos em que a intensidade luminosa é nula em cor preta.

A difração por fenda simples pode ser explicada matematicamente pela equação [1.11], em que $n = 1, 2, 3, \dots$. De acordo com Halliday (1999 p. 134), este é um dos critérios para que a intensidade da difração seja máxima. A condição de mínimo ocorre quando, $tg\theta = \frac{y}{z}$, como $tg\theta = sen\theta \approx \theta = \frac{y}{z}$, a Eq. [1.11] fica escrita como:

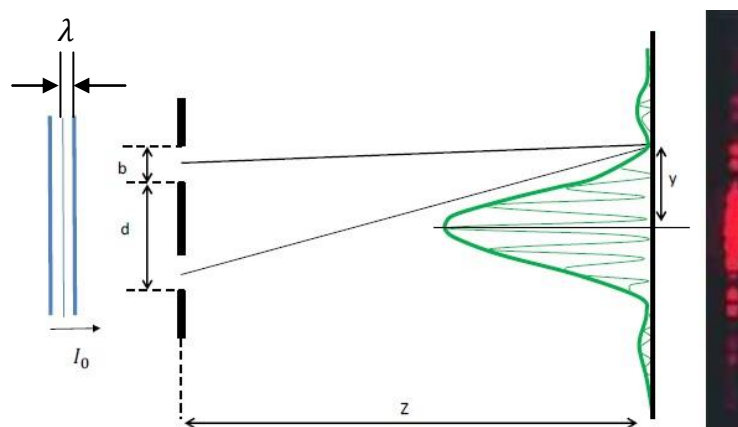
$$y = \frac{n\lambda z}{b}.$$

A intensidade da luz em um anteparo é dependente do ângulo entre a onda e a largura da fenda. Além disso, quando a luz difrata por um conjunto de aberturas periódicas, se observam interessantes fenômenos de interferência entre as ondas originadas em cada abertura.

Segue o caso da difração em fenda dupla, cujo arranjo e o efeito observado é semelhante a aquele da fenda simples. O resultado final em qualquer direção depende da diferença da distância entre as duas fendas, pois ocorre o efeito de interferência, e o resultado no anteparo, são máximos e mínimos de intensidade da luz.

A difração em fenda dupla é demonstrada pela experiência de Thomas Young (proposta por ele em 1800), quando uma onda é difratada por duas ou mais fendas (Figura 1.10), o modelo em um anteparo é uma mistura de difração e interferências construtivas e destrutivas.

Figura 1.10 – Representação da luz de intensidade I_0 , difratada pelas duas fendas de tamanho b sofre efeito de interferência/difração, e período d , de modo a se obter no anteparo máximos e mínimos de luz.



Fonte: adaptado das referências: Instituto de Física Unicamp, e da USP, disponível em <<https://sites.ifi.unicamp.br/laboptica/roteiros-do-laboratorio/3-difracao-de-fendas/>> e <<http://plato.if.usp.br/1-2004/fap0181d/LAB5.htm>>.

Os máximos de interferência (máximos principais), da Lei de Bragg (Eq. [1.11]), ocorrem sempre que: $d \sin \theta = m \lambda$, e os de difração tem mínimo de intensidade (I) sempre que: $b \sin \theta = n \lambda$, válidos para m e n inteiros $0, 1, 2, 3, \dots$

A relação entre a difração e a interferência, é que o fator de difração modula o fator de interferência. O máximo de interferência é suprimido quando um máximo de interferência coincidir espacialmente com um mínimo de difração, que ocorre quando

$$\frac{d}{b} n = m.$$

Já em uma rede de difração, quando se tem várias fendas, depende das

condições de iluminação e de onde se observa o efeito da difração. Se o obstáculo é iluminado com ondas planas e a região onde observamos a difração está longe do obstáculo dizemos que temos difração de Fraunhofer¹⁶, pois os raios difratados podem ser considerados paralelos. Este é o caso em que a Eq. [1.11] é válida. Em todos os outros casos dizemos que temos difração de Huygens-Fresnel.

No ano de 1920 ficou comprovado o comportamento corpuscular dos Raios X. A dualidade, no entanto, foi definitivamente estabelecida depois da experiência de Compton. Em 1923, Compton “visualiza”, em um jogo de bilhar, o comportamento dos fótons usando Raios X e uma amostra de grafite (Halliday, 2009). Arthur Holly Compton ganhou o Prêmio Nobel em Física de 1927, pelo trabalho chamado de efeito Compton que demonstra a natureza da partícula da radiação eletromagnética.

Em 1925, Louis Victor de Broglie estendeu o caráter dual da luz para a matéria. Por representar um grande passo para a Física, de Broglie recebeu, em 1929, o Prêmio Nobel de Física. A proposta de De Broglie para a dualidade onda-partícula para a matéria se estende a toda matéria como: prótons, nêutrons, átomos, moléculas e não somente aos elétrons.

Ele sugeriu a relação $\lambda = \frac{h}{p}$, sendo λ o chamado comprimento de onda de De Broglie, h é a constante de Planck e p o momento da partícula envolvida. Combinando assim, as equações de Planck (Eq. [1.10]) e de Einstein ($E = mc^2$), concluiu-se que "tudo o que é dotado de energia, vibra e há uma onda associada a qualquer coisa que tenha massa".

Portanto, o Princípio de De Broglie atribui um comprimento de onda de matéria para qualquer massa m com velocidade c , representada matematicamente por:

$$E = hv = mc^2 \quad . \quad [1.12]$$

Até o momento, foi apresentado as equações fundamentais do eletromagnetismo, que são as 4 equações de Maxwell e a força de Lorentz. Partindo de suas 4 equações, para o caso sem fonte (fonte distante), as equações da onda foram deduzidas. Mostrando assim, que a radiação eletromagnética são ondas compostas de campos elétricos e magnéticos oscilando perpendicularmente entre si, denominadas de ondas

¹⁶ Joseph Von Fraunhofer, físico, astrônomo e químico, de origem alemã, descobridor das Linhas de Fraunhofer, que são as linhas escuras de absorção do espectro solar em 1814 com a construção de um espectroscópio, e por fazer materiais para telescópio: o vidro óptico e lentes objetivas. Inventou a rede de difração, permitindo medir o comprimento de onda da luz de forma precisa. Foi o descobridor do espectro de Sirius e de outras estrelas.

eletromagnéticas. E, que no decorrer da história do eletromagnetismo por meios experimentais este fato foi verificado por Hertz, e que dentro do limite da radiação eletromagnética, esta possui diferentes tipos de radiação. Todos comprovados experimentalmente.

Como uma onda, e respeitando os fenômenos e propriedades de reflexão e refração, da óptica geométrica, analisou-se do ponto de vista clássico e via óptica física, o fenômeno da difração, no limite da luz visível, nos experimentos de fenda simples e dupla e para uma luz monocromática.

Posteriormente, apresentou-se o comportamento da dualidade partícula-onda e sua energia, abrangendo assim a difração por meio ondulatório da interação fóton-elétron. Assunto esse visto em Física Moderna.

A seguir, apresentam-se os principais aspectos dos Raios X, desde a sua descoberta e aplicações que compreendemos ser motivadoras aos alunos e outras citadas por eles nos seminários.

1.2.2 Raios X: da descoberta às aplicações

Conforme apresentado, os Raios X são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda muito pequeno, que vão desde 0,01 até 10 *nm* e suas respectivas frequências na faixa de 3×10^{16} a 3×10^{19} *Hz*. Desde a sua descoberta, até os dias atuais, os Raios X estão em nosso cotidiano e nas áreas de pesquisas da Física. Desta forma apresenta-se a seguir como ocorreu a descoberta dos Raios X, e citam-se o que essa descoberta proporcionou no ramo da física, química e medicina.

1.2.2.1 Descoberta dos Raios X

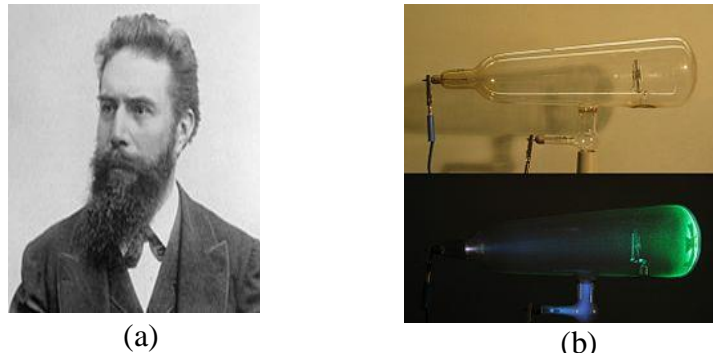
Sua descoberta e a primeira radiografia da história ocorreram em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen¹⁷ (Figura 1.10 (a)) (Röntgen, 1895; 1896). Repetindo o experimento de Joseph John Thompson (1856-1940) em seu laboratório na Universidade de Wurzburg, Alemanha, Röntgen procurou detectar a radiação eletromagnética de alta frequência prevista por Heinrich Hertz (1857-1894). Contextualização que passa a ser descrita nesta seção (Glasser, 1993).

Com um tubo de Crookes (Figura 1.11 (b)), Röntgen tentou observar um estranho

¹⁷ Também escrita na literatura com a grafia: Roentgen e Röntgen.

fenômeno descrito pelo físico Philipp Lenard (1862-1947).

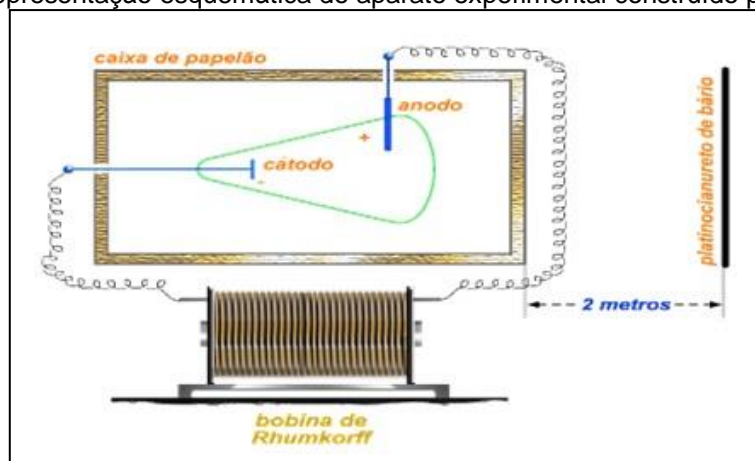
Figura 1.11 – Imagem fotográfica: (a) do físico e engenheiro mecânico alemão Wilhelm Conrad Röntgen, e em (b) do tubo de Crookes.



Fonte: (a) <<https://www.spr.org.br/a-spr/historia-da-radiologia>>. e (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Crookes>.

De acordo com a entrevista publicada em abril de 1896 (Dam, 1896), na revista McClure's Magazine, Röntgen afirmou que estava trabalhando com um tubo de Crookes, coberto por uma caixa de papelão (Figura 1.12) recoberta com uma substância luminescente, o platinocianeto de bário ($\text{BaPt}(\text{CN})_4$), quando ao passar uma corrente de alta voltagem pelo tubo, ele observou uma “linha preta” que se formou sobre o papel que o cobria.

Figura 1.12 – Representação esquemática do aparato experimental construído por Röntgen.



Fonte: <<http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>>.

Essa linha preta descrita pelo cientista talvez seja uma sombra que se formou quando a substância começou a brilhar. Um efeito que só poderia ser produzido pela passagem de algum tipo de luz. Entretanto a luz não poderia estar saindo do tubo, pois ele havia sido coberto com a caixa de papelão justamente para evitar a passagem da luz produzida pelo arco elétrico.

Röntgen investigou e percebeu que o efeito se originava do tubo de descarga. Aumentou gradualmente a distância entre o tubo e a tela de material fluorescente, até aproximadamente dois metros (conforme indicado na Figura 1.12), o brilho continuava, o que o levou a concluir que não poderia ser os Raios Catódicos do tubo devido à distância. Ele havia descoberto algo novo. (Dam, 1896).

Com suas experiências, Röntgen descreveu algumas observações e propriedades da radiação que havia descoberto, dentre elas:

- Que a produção de luminescência em certos materiais fluorescentes sensibilizava chapas fotográficas;
- é invisível ao olho humano;
- parecia não sofrer reflexão, nem refração, nem polarização.

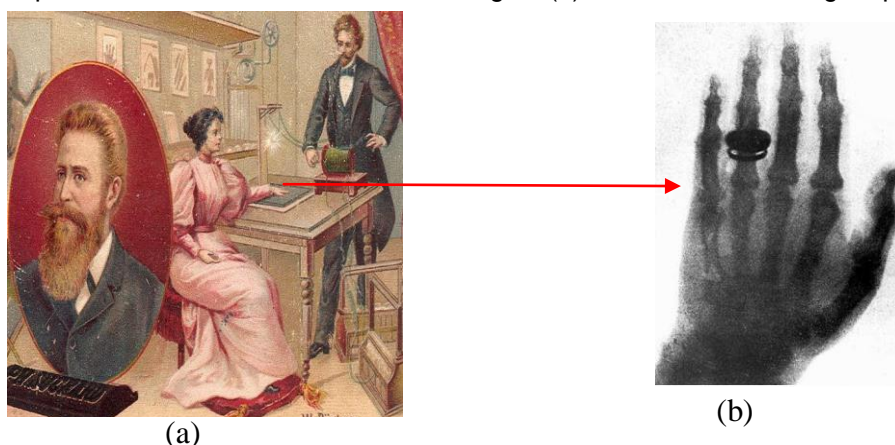
Por ser invisível e atravessar grandes espessuras de papel ou madeira, acreditava-se não se tratar de luz. Também não eram raios catódicos, pois não sofriam desvio com ímãs e tinham alto poder de penetração.

Röntgen conclui que se tratava de um novo tipo de radiação invisível, com poder de penetração ainda desconhecido, capaz de atravessar materiais opacos à luz e a outras radiações conhecidas. A esses raios desconhecidos deu o nome de Raios X.

Desta forma, ele começou a empregar placas radiográficas na revelação das imagens que conseguia com a exposição aos Raios X e passou a expor essas imagens.

Em 22 de dezembro de 1895, fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão esquerda da esposa Ana Bertha Ludwig, conforme ilustra a Figura 1.13 (a), atingindo do outro lado com uma chapa fotográfica.

Figura 1.13 – Imagem (a) de Röntgen realizando Raios X da mão esquerda de sua esposa Bertha. Em destaque, apresenta-se o busto de Wilhelm Röntgen, (b) do resultado da imagem por Raios X.



Fontes:(a)<<https://hypescience.com/27195-primeiros-raios-x/>>(b) <https://www.researchgate.net/figure/Imagem-por-raio-X-da-mao-da-esposa-de-Roentgen-Roentgen-1895_fig5_263235771>.

Revelada a chapa radiográfica, viu a sombra dos ossos de Bertha, sendo essa a primeira radiografia conhecida de uma parte do corpo humano. Na imagem da radiografia observaram alguns metacarpos e ossos dos dedos (falanges) da mão, incluindo um anel, conforme ilustrado na Figura 1.13(b).

Pela descoberta dos Raios X, rendeu a Wilheelm Röntgen Conrad o primeiro prêmio Nobel de Física em 1901. Sendo muito questionado enfrentou a desconfiança de muitos cientistas da época, mas continuou dedicando-se ao estudo do mesmo. Ele respondeu aos críticos com uma nobre atitude: doou o dinheiro que ganhou com o Prêmio Nobel à Universidade de Wurzburg.

A descoberta dos Raios X e sua divulgação provocaram enorme repercussão no meio científico e fora dele; diversas histórias apareceram, algumas delas questionando a autoria da descoberta. Pois, impressões em chapas fotográficas e brilho de substâncias luminescentes já haviam sido observados por outros cientistas antes de Röntgen, porém nenhum deles deu a devida importância ao fenômeno ou deixou para aprofundar as investigações em outro momento. Entre eles Johann Hittorf, Eugen Goldstein, Philipp Lenard e o interessante caso de William Crookes (inventor do tubo de Crookes) que notou algumas vezes que as chapas fotográficas ficavam veladas antes de ser exposta a luz, chegaram inclusive a reclamar com o fabricante (Nitske, 1971).

Também surgiram várias hipóteses para tentar explicar à natureza da nova radiação. Físicos e alguns jornais da época faziam confusão entre Raios X e os Raios Catódicos, usavam esses termos indistintamente. Os Raios Catódicos, feixe de partículas de carga elétrica negativa, foram caracterizados dois anos após a descoberta dos Raios X, fruto do trabalho de Joseph John Thomson.

Em busca de uma explicação para tal fenômeno, diversas hipóteses foram levantadas:

- que os Raios X eram ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhantes à radiação ultravioleta;
- que esses raios seriam ondas eletromagnéticas longitudinais (hipótese levantada pelo próprio Röntgen);
- que a radiação X corresponderia a pulsos não periódicos de radiação eletromagnética;
- que os Raios X eram de natureza corpuscular, formados por raios catódicos modificados (neutros).

Depois de extensivos experimentos, a polêmica foi decidida favoravelmente à primeira hipótese: “Que os Raios X eram ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhantes à radiação ultravioleta”.

No Brasil, a primeira radiografia realizada foi em 1896. A primazia foi disputada por vários pesquisadores: Silva Ramos, em São Paulo; Francisco Pereira Neves, no Rio de Janeiro; Alfredo Brito, na Bahia; e físicos do Pará. Como a história não relata dia e mês, conclui-se que as diferenças cronológicas sejam muito pequenas.

Ainda neste ano de 1896, Antoine Henri Becquerel analisou o Urânio metálico, em sua pesquisa sobre a relação entre a emissão de Raios X e a luminescência, devido a descoberta de Röntgen. O que Becquerel verificou que o Urânio emitia algo que marcava chapas fotográficas além de ionizar o ar a sua volta.

Em 1898, entra em cena madame Marie Sklodowska Curie (polonesa, casada com o físico francês Pierre Curie), em sua tese de doutorado apresentada à Academia Francesa de Ciências, de que o Urânio emitia radiação, tal qual o tório tinha o mesmo fenômeno físico. Essa “radiação” não era os Raios X e sim, outro tipo de radiação denominado de radiação gama, que é um tipo de radiação espontânea e natural.

Becquerel, Pierre e Marie Curie ganharam o Prêmio Nobel de Física de 1903. Em relação a essa descoberta é que esses materiais chamados radioisótopos são elementos que tem emissão de radiação espontânea (naturalmente), e não por geração em um tubo (“artificial”) como os Raios X da descoberta de Röntgen.

Marie Curie foi a responsável pela “teoria da radioatividade” - nomeada assim por ela - técnicas de isolar isótopos radioativos (método de descoberta do polônio, tório e rádio). O primeiro elemento químico de sua descoberta deu o nome de polônio em homenagem a seu país de origem, a Polônia. Em 1913 ganhou outro prêmio Nobel, desta vez em Química.

Entre a importância de suas pesquisas, além do método elétrico de quantificação de radiação e de sua identificação diante dos outros fenômenos, há a construção de unidades móveis de Raios X, a qual se dedicou na Primeira Guerra Mundial. Ela carregava testes de rádio (outra de sua descoberta na emissão de radiação) nos bolsos, o que lhe provocou leucemia da qual faleceu em 1934, aos 66 anos de idade.

Com o uso de forma errônea, os materiais radioativos estavam sendo utilizados por produtores de cosméticos, motivo pela qual era também requisitada para sua divulgação.

Em 1926, com a fama das águas radioativas de Águas de Lindóia (SP), visitou o

Brasil, na época o município chamava-se somente Lindóia (Viana, 2015).

No decorrer dos anos até o presente, foram construídos outros equipamentos, como por exemplo, o Difratorômetro de Raios X (DRX), Espalhamento de Raios X a baixo ângulo (SAXS) e Fluorescência de Raios (FRX) com fins de identificação de propriedades/morfologia dos constituintes de materiais a ser analisado.

O DRX é um equipamento em que o feixe de ondas incide na superfície de uma amostra do material em diferentes ângulos, interagem com os cristais da composição do material e ocorre o espalhamento de Raios X pelo material, o que permite a identificação de seus compostos e estruturas químicas. A difração de Raios X se produz quando há interferência construtiva no processo de espalhamento dos fótons pelos átomos de uma estrutura cristalina. Nos experimentos sobre emissão e absorção de Raios X, um cristal de distância interplanar conhecida é utilizado como analisador de um feixe, com aplicação da lei de Bragg (Eq. [1.11]).

Já no nível micro e nano para tornar possível medir as grandes distâncias entre os planos de rede de outros materiais, como minerais e moléculas complexas, utiliza-se o SAXS – que é um DRX a baixo ângulo.

Enquanto que, no FRX, incide-se sobre a amostra a radiação de altas energias provinda da emissão de um tubo de Raios X e se mede por meio de um detector as intensidades das energias reemitidas que indicam os elementos químicos presentes na amostra em análise.

Esses equipamentos, normalmente, são utilizados para caracterização de materiais em pesquisa nas universidades. Inclusive na UEM¹⁸.

Na próxima subseção, apresentam-se como são produzidos os Raios X.

1.2.2.2 Processo de Produção de Raios X

Como apresentado, os Raios X possuem comprimento de onda muito pequeno, que vão desde 0,01 até 10 *nm* e suas respectivas frequências na faixa de 3×10^{16} a 3×10^{19} *Hz* com variação de energia de 100 *eV* até 100 *KeV*. Portanto, os Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico. Os tubos de Raios X são, portanto, fontes artificiais e não naturais, a radiação gerada pelo mesmo é denominado de Radiação ionizante (Okuno, 2013), visto a sua

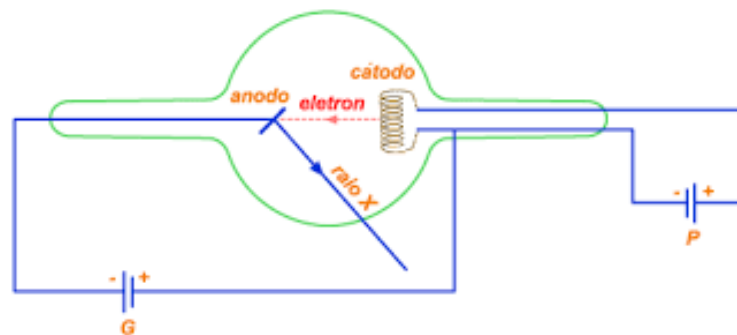
¹⁸ Equipamentos disponíveis no Complexo de Centrais de Apoio (COMCAP) da UEM: <<http://www.cpr.uem.br/index.php/catalogos/laboratorios/2244-laboratorio-de-espalhamento-difracao-e-fluorescencia-de-raios-x>>.

capacidade de arrancar elétrons ao interagir com o material, e é um tipo de radiação bastante penetrante quando comparados com outros tipos de radiação (alfa e beta).

Assim, os equipamentos de Raios X, normalmente são constituídos por tubos com gás à pressão de mais ou menos $0,001\text{ mmHg}$. O tubo é esférico, e além do cátodo C e do ânodo A, possui um terceiro eletrodo B, chamado alvo, colocado no centro da esfera.

O alvo B está ligado ao ânodo A, de maneira que ficam submetidos ao mesmo potencial. Este alvo combinado com o ânodo produz um campo elétrico encurvando a trajetória dos elétrons e faz com que a maioria dos elétrons encontre o alvo perpendicularmente, conforme representado na Figura 1.14. A diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo nestes tubos é de 30 K a 50 KV .

Figura 1.14 – Representação esquemática de um tubo a gás utilizado na produção de Raios X que consiste de uma ampola de vidro ou metal, a vácuo, comum filamento de tungstênio em uma extremidade, denominado cátodo, e um alvo de metal na outra extremidade, denominado ânodo.



Fonte: Instituto de Física – Universidade de São Paulo disponível em <http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>.

Etapas para o processo de emissão de Raios X:

- i. Emissão termoiônica - o cátodo é aquecido e, essa energia térmica é capaz de liberar elétrons;
- ii. Essa nuvem eletrônica liberada é acelerada em direção ao ânodo, devido à aplicação de uma diferença de potencial (KV) formando uma corrente (mA). O tempo de duração desta aplicação multiplicado pela corrente é chamada de produto corrente-tempo ($mA\ s$);
- iii. Emissão de Raios X:
 - iii.a - Se chocarem com o ânodo, os elétrons penetram no material e passam muito próximo dos núcleos dos átomos, causando uma desaceleração,

pois faz com que estes elétrons percam energia que é emitida em forma de fótons de Raios X. Processo esse conhecido por *Bremsstrahlung* ou radiação de freamento.

- iii b - Os elétrons podem também colidir com elétrons orbitais dos átomos do material do ânodo e retirá-los, caso a energia cinética destes seja maior ou igual à energia dos elétrons no átomo. Ao ser removido do átomo, o elétron deixa uma vacância naquela órbita. Isso faz com que elétrons de camadas mais externas ocupem essa vacância. Como em órbitas mais internas há uma menor energia de ligação, o excesso é emitido em forma de fótons de Raios X. Processo denominado de Raios X característico.
- iv. Depois de formados, os Raios X saem do tubo passando através de uma janela de berílio (Be) e passam por um filtro que pode ser de molibdênio (Mo), ródio (Rh) ou tungstênio (W), os quais absorvem os fótons de Raios X indesejáveis para a imagem. Atualmente, algumas combinações de alvo e filtro são comuns: Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh e W/Al. Espectros de Raios X produzidos por um alvo de molibdênio (Mo) e um de tungstênio (W). O alvo de Mo produz fótons com energias mais baixas do que o de W, que melhora o contraste radiográfico.

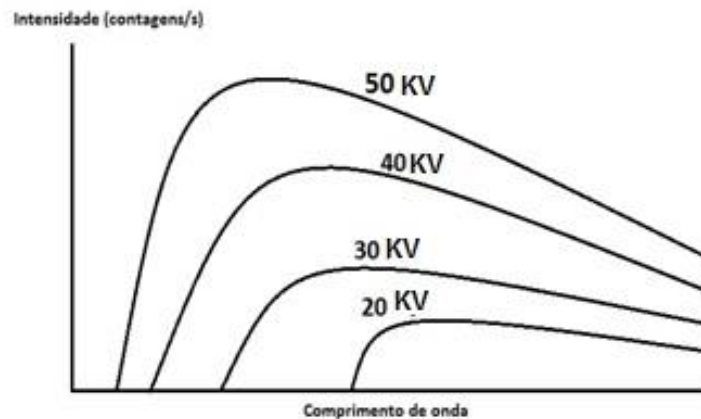
Nos Raios X o espectro¹⁹ é um gráfico representado pela quantidade de Raios X incidente pela energia emitida. A unidade utilizada usualmente para a quantidade de Raios X é unidade arbitrária (*u. a.*) e indicada por *I* de intensidade, e para a energia é o quilovolts (KV), pois a faixa de energia utilizada em radiodiagnóstico está nesta ordem, tanto para Raios X de freamento quanto ao Raios X característico; ou gráficos da Intensidade de Raios X (*u. a.*) versus comprimento de onda (Å), para várias faixas de energia em (KV).

Na Figura 1.15 apresenta-se um gráfico da Intensidade de Raios X (contagens por segundo) versus comprimento de onda (λ), para várias diferenças de potenciais (ddps), indicando o comportamento dos espectros obtidos para um ânodo de tungstênio. Observe que todas as curvas têm em comum o fato de que há um comprimento de onda máximo variável (menor para maiores ddps) e em todas elas um mínimo, abaixo do qual não se observa qualquer radiação de Raios X. A diferença de

¹⁹ Lembrando que espectro é uma representação das intensidades ou amplitudes, e podem ser traduzidos também por sua energia. As fases diferem-se fisicamente uma das outras por suas frequências.

potencial entre o cátodo e o ânodo, usados para acelerar o feixe de elétrons são indicados acima da curva correspondente (Javan, 2013).

Figura 1.15 – Representações dos comportamentos gráficos dos espectros contínuos utilizando um ânodo de tungstênio de acordo com a ddp em quilovolt (KV). O espectro contínuo é uma curva da intensidade em contagens por segundo, versus comprimento de onda (λ) dos Raios X,



Fonte: adaptado de <<https://tecnicoderadiologia.blogspot.com/2013/04/resumo-producao-de-raio-x.html>>.

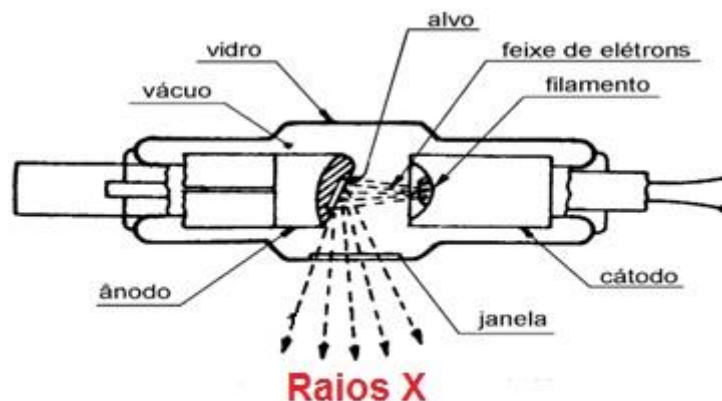
Segundo Santos (2002):

O espectro contínuo é simplesmente uma curva de contagens por segundo (intensidade), *versus* comprimento de onda (λ) dos Raios X, ou seja, Intensidade *versus* λ . Conforme foi proposto por Einstein, um fóton de radiação, com frequência f , transporta uma energia $hf = \frac{hc}{\lambda}$, onde λ é o comprimento de onda da radiação (Santos, C. A, 2002. p 1).

Portanto, os Raios X emitidos deverão ter energia máxima igual à energia do elétron incidente, ou seja, o espectro contínuo é limitado pelo comprimento de onda associado à energia máxima do elétron.

Atualmente os Raios X são produzidos por tubo de *Coolidge* (Figura 1.16), estruturado por um tubo oco com vácuo e uma placa de metal geradora de fluxo de elétrons de alta energia liberado a partir da incandescência da placa (cátodo).

Figura 1.16 – Desenho esquemático do tubo de *Coolidge* para emissão de Raios X. As partes constituintes deste aparato estão indicadas no próprio desenho, bem como, a representação dos Raios X sendo produzidos.



Fonte: adaptado da referência: <http://1.bp.blogspot.com/2EpQCHZdZac/UTz6_dDFLHI/AAAAAAAAAEk/EHd2_Dd9kSM/s1600/tubo+de+coolidge.png>

Como já citado os Raios X podem ocorrer: por decaimento (os Raios X característicos) ou por interações de partículas carregadas (radiação) com a matéria (Raios X de freamento). As radiações ou ondas eletromagnéticas são de altas energias oriundas de transições eletrônicas de níveis e subníveis mais internos no átomo.

Os Raios X de freamento é o utilizado para gerar Raios X para uso médico e industrial, pois depende exclusivamente da energia das partículas incidentes com a matéria, gerando desde centenas de *KV* até centenas de *MV*, conforme a aplicação desejada. Por exemplo, a radiografia oral ocorre com uma diferença de potencial entre 50 a 90 *KV*, já a nível industrial ocorre entre 150 – 500 *KV*.

1.2.2.3 Interação dos Raios X com a Matéria

Os Raios X interagem, em nível atômico, com a matéria de quatro formas diferentes, dependendo de sua energia (energia do fóton incidente) e da composição do material. São elas (Javan, 2013):

- a) **Absorção Fotoelétrica ou efeito fotoelétrico:** é aquela na qual o fóton de Raios X é absorvido e, toda sua energia é transferida para um elétron. Quando a energia do fóton é um pouco maior que a energia de ligação dos elétrons da camada mais interna tem maior probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico.

Acontece principalmente com Raios X moles. Devido a esse efeito, observa-se o contraste do osso aparecer mais claro do que a região a sua volta, pelo pulmão ser mais escuro do que o material a sua volta, pois o efeito é inversamente proporcional a energia ao cubo, e diretamente proporcional ao cubo do número atômico do material absorvedor.

- b) **Espalhamento Compton (EC):** é uma forma de espalhamento inelástico, em que o fóton do Raios X incidente ao interagir com a camada mais externa de um átomo transfere a energia para o elétron ejetando-o (efeito Compton), e a outra parte da energia será a radiação espalhada que têm um comprimento de onda maior do que o da radiação incidente. Esta parte espalhada de Raios X diminui a resolução das imagens radiográficas. A probabilidade do EC ocorrer é inversamente proporcional a sua energia ($1/E$), e é praticamente independente do número atômico do material absorvedor. O EC é o mecanismo predominante em Raios X duros na geração de imagens médicas.
- c) **Espalhamento não modificado ou coerente:** observado primeiramente por Thomson é um espalhamento puro, sendo esta uma interação de pura dispersão, sem deposição de energia no material. Nesse processo, o fóton interage com os elétrons dos orbitais atômicos da matéria de forma que enquanto os elétrons oscilam por um período de tempo muito curto, outro fóton de mesma energia é liberado e se propaga em direções diferentes. Como esse tipo de interação é mais provável para fótons de energia baixa, não são importantes para a radiologia diagnóstica. A sua maior probabilidade de ocorrer é para fótons incidentes com energia menores que 10 KeV . (Portal da Educação, 2018 e Hipermídia, 2018):
- d) **Produção de par – absorção pura –** Este tipo de interação ocorre somente quando o fóton incidente de Raios X tiver uma energia maior que $1,02 \text{ MeV}$, quando se aproxima do núcleo atômico fica sob influência da força do campo nuclear, e o fóton incidente desaparece, dando origem a duas partículas carregadas: o pósitron (positivo) e o elétron (negativo). O pósitron irá se combinar com um elétron livre do meio, e irá gerar dois fótons com energia de $0,512 \text{ MeV}$, denominada de radiação de aniquilação. Sendo esse o processo

usado em tomografias por emissão de pósitrons. Já o elétron irá perder sua energia por meio de excitação ou ionização (Hiperfísica, 2018).

Os Raios X são capazes de penetrar em alguns materiais, dependendo dos elementos que constituem esse material. A essa propriedade chamamos de absorção. Na escolha dos materiais ou objetos a serem submetidos à imagem de Raios X, deve-se ficar atento a sua classificação, os mesmos podem ser transparentes, translúcidos e opacos:

- Os materiais transparentes permitem a passagem da luz, sendo assim, a luz percorre trajetórias bem definidas.
- Os materiais translúcidos permitem que a luz passe através deles difusamente, uma trajetória não regular, então não permitindo uma visão completa e nítida da imagem.
- Os materiais opacos não permitem a propagação da luz, eles absorvem (convertem em energia térmica) e refletem essa luz.

A capacidade de penetração é o que difere os materiais uns dos outros.

Röntgen verificou que os Raios X atravessam materiais de baixa densidade e são absorvidos por materiais de alta densidade. Como exemplo, podemos citar os músculos do corpo humano, quando o indivíduo realiza exames de Raios X os músculos não aparecem na imagem, no entanto, os ossos, com alta densidade são observados nitidamente.

Há alguns fatores que afetam na absorção de Raios X. De acordo com Dmitruk (2016) são eles:

- a) Espessura do absorvedor:** quanto maior a espessura de um material, ou seja, quanto mais grosso, maior a absorção de Raios X.
- b) Densidade do absorvedor:** como se sabe, a densidade diz respeito a massa por unidade de volume, assim um material de maior densidade é mais absorvedor que um de menor densidade.
- c) Número atômico do absorvente:** constitui-se num dos principais fatores que afetam as características de absorção dos Raios X. Essa absorção depende do número atômico e está relacionada a energia do feixe Raios X incidente.
- d) Meio de contraste:** constituem-se de substâncias que diferem em densidade e em número atômico dos tecidos animais.
- e) Kilovoltagem:** os Raios X produzidos por baixa Kilovoltagem possuem um maior comprimento de onda o que por sua vez os torna menos penetrantes que aqueles produzidos com alta Kilovoltagem devido à diferença dos seus comprimentos de onda. Quanto maior a voltagem, menor o comprimento de onda e vice-versa, conforme apresentado na Figura 1.15 (nota da autora).
- f) Filtração:** constitui-se numa forma de se remover do feixe de Raios X aqueles raios que possuem menor energia e por conseqüência, menos penetrantes, utilizando-se dos conceitos de absorção. Esse processo é também denominado **endurecimento do feixe**.

g) Composição do alvo: a maioria dos tubos de Raios X possuem um alvo de Tungstênio por apresentar as seguintes propriedades: o maior ponto de fusão entre os metais e alta densidade. Podem ser constituídos também de uma liga de Rênio (Re) e Tungstênio (W) e para o caso de algumas aplicações especiais como é o caso da mamografia, o alvo é de Molibdênio. (Dmitruk, 2016, p.1).

Quantitativamente a absorção de Raios X pelo material é obtida pela Lei de Beer-Lambert²⁰:

$$I(d) = I_0 e^{-\mu d} \quad [1.13]$$

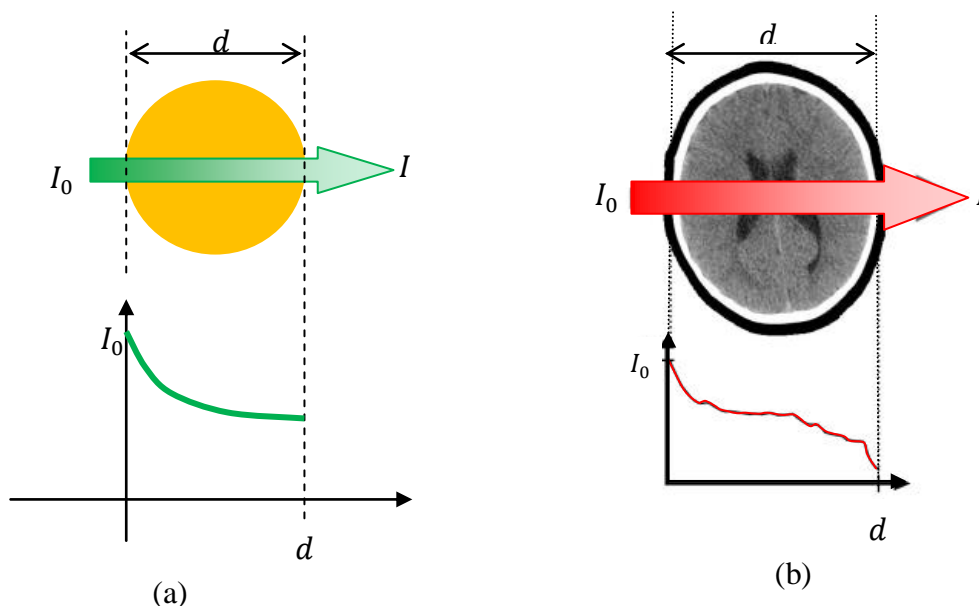
em que: d é a espessura da amostra, μ é o coeficiente de atenuação (Marone, 2017), sua unidade é dada por (cm^{-1}). Conforme ilustrado na Figura 1.17 (a) e a Eq. [1.13], sendo A a absorbância, para luz monocromática e material homogêneo:

$$\ln \frac{I_0}{I} = A = \mu d$$

ou que:

$$\mu = \frac{A}{d} = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I}. \quad [1.14]$$

Figura 1.17 – Desenho ilustrativo de uma amostra de espessura d e do esboço gráfico do coeficiente de atenuação de uma radiação incidente (a) monocromática (verde), e material homogêneo (em alaranjado) e (b) radiação policromática (vermelho) e material não homogêneo em cinza. Sendo I_0 intensidade inicial e I a final. As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: adaptado da referência: http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Marone_HSC19_Part1.pdf

²⁰ Lei empírica que trata da absorção de todo o espectro de radiações das ondas eletromagnéticas. A técnica experimental para os Raios X, é denominada de Fluorescência de Raios X.

No caso, de material não homogêneo e fonte policromática fica válida a Equação [1.15]:

$$I = \int_0^{E_{max}} I_0(E) e^{-\int_0^d \mu(E,z) dz} dE, \quad [1.15]$$

$$I = I_0 e^{-\int_0^d \mu(z) dz},$$

e a absorvência dada por:

$$A = \ln \frac{I_0}{I} = \int_0^d \mu(z) dz. \quad [1.16]$$

Chamada de transformada Radon para obter $\mu(z)$, proposta por Radon em 1917, e utilizada em análises de tomografia computadorizada (Marone, 2017).

Mudando o foco no tipo de material analisado, os Raios X policromáticos são selecionados de acordo com a energia, logo relacionados ao comprimento de onda por meio de um cristal analisador. Para o estudo do comportamento de absorção de materiais metálicos em função de sua espessura e do comprimento de onda da radiação monocromática selecionada, esta é considerada como a fonte primária incidente. Nesse caso, o coeficiente de atenuação na Equação [1.13] é dependente do comprimento de onda dessa radiação $\mu(\lambda)$. Além disso, esse pode ser proporcional a densidade do material ρ e I_0 intensidade inicial. Tal que o coeficiente de absorção específico é dado por

$$\frac{\mu}{\rho}, \quad [1.17]$$

cuja unidade é dada em $\frac{cm^2}{g}$. No roteiro (R04) elaborado por Silveira (200?), utilizando componentes da PHYWE (mesma marca de equipamento utilizado neste trabalho), propõem na componente curricular Experimentos de Física Quântica, como obter o coeficiente de atenuação e o de absorção (Eq. [1.17]) para algumas lâminas metálicas. E, indicam a Tabela 3 (Table 3) no site do *National Institute of Standards and Technology* (NIST), os coeficientes de absorção para Raios X. Ainda nessa referência Hubbell e Seltzer (2004) publicaram tabelas e gráficos sobre o coeficiente de atenuação da massa do fóton e do coeficiente de absorção de energia da massa para os elementos com $Z = 1$ a 92 e para 48 compostos e misturas de interesses radiológicos. Essas tabelas apresentam as energias do fóton (Raios X, gama e *bremsstrahlung*) de 1 KeV a 20 MeV.

Para um fechamento desta parte apresentam-se as propriedades específicas dos Raios X (Tipler, 1999):

- a) Os Raios X possuem todas as propriedades gerais de ondas eletromagnéticas: sofrem reflexão, refração, interferência, difração e polarização;
- b) Propagam-se em linha reta, com velocidade igual à da luz;
- c) Tornam fluorescentes muitos corpos sobre os quais incidem, como por exemplo, platino cianureto de bário (e por esta propriedade que permitiu sua descoberta);
- d) Provocam ação química em certas substâncias. Eles impressionam chapas fotográficas mesmo quando elas estão protegidas por superfícies que a luz não atravessa, como por exemplo, caixas de papelão, ou papel preto;
- e) Atravessam grandes espessuras de materiais. A facilidade maior ou menor com que os Raios X atravessam as substâncias depende do comprimento de onda dos Raios X, da espessura da substância e do seu peso atômico. Os Raios X de menor comprimento de onda, da ordem de $0,01 \text{ \AA}$, têm maior facilidade para penetrar nos corpos: são chamados Raios X duros. Os de maior comprimento de onda, da ordem de 1 \AA , penetram menos nos corpos: são chamados Raios X moles. Atravessam com grande facilidade as substâncias de pequeno peso atômico, como por exemplo, os elementos fundamentais dos corpos orgânicos, carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. As substâncias “densas” são dificilmente atravessadas. Assim, o chumbo é usado frequentemente para barrar os Raios X;
- f) Ionizam as moléculas dos gases por onde passam;
- g) Não tem carga elétrica com isso não sofrem desvios por campo elétrico e nem por campo magnético.

1.2.2.4 Aplicações dos Raios X

Esta subseção está dedicada à apresentação da aplicação quanto aos aspectos gerais e uma aplicação específica que é a radiação Síncrotron.

1.2.2.4 a – Aplicações Gerais

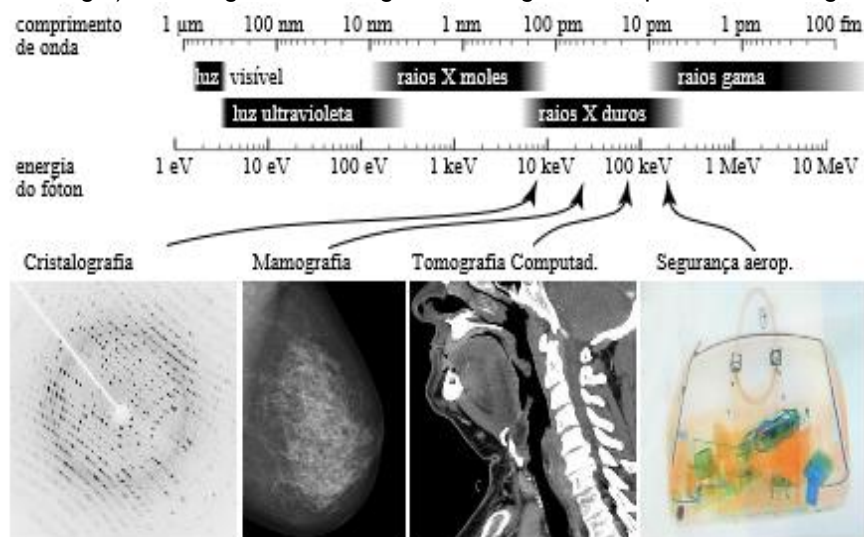
Em relação às energias dos Raios X, apresentou-se (subseção 1.2.1.1) que os Raios X são radiações eletromagnéticas localizadas entre a radiação ultravioleta (UV)

e os raios gama no espectro eletromagnético (Figura 1.4). Normalmente, suas energias estão na faixa entre 100 eV (elétron-volt) e 100 KeV (quilo elétron-volt). Como por exemplo, nos Raios X de diagnóstico varia de 10 a 150 KeV, mas em algumas aplicações industriais e medicinais utilizam Raios X com energias da ordem de 1 MeV (mega elétron-volt). Quanto a capacidade de penetração dos Raios X nos materiais, estes são classificados em Raios X moles aos que possuem energias de até 5 KeV e os com energias maiores que esse valor são os chamados de Raios X duros. A referência, duros e moles é em relação a essa capacidade de penetração.

Essa radiação (Raios X duros) tem seu uso variado desde o ponto de vista de aplicação quanto científico, visto que possui comprimento de onda comparável ao tamanho dos átomos, apresentando uma energia muito grande a ponto de ocorrer ionização das moléculas além do seu grande poder de penetração.

Exemplos de aplicações desta faixa de Raios X são em: Cristalografia, mamografia, tomografia computacional, controle de bagagem em aeroportos, conforme indicado na Figura 1.18.

Figura 1.18 – Representação de um espectro eletromagnético e energia de penetração indicando dentro da faixa dos Raios X, os Raios X moles e os duros. E, exemplos de aplicações no cotidiano dos Raios X duros (alta energia), cristalografia, mamografia, tomografia computacional e segurança em aeroportos.



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/X-ray_applications.svg/1000px-X-ray_applications.svg.png.

Logo, os Raios X possuem grande aplicação, pois é um tipo de radiação de alta energia, com capacidade de penetrar em organismos vivos e atravessar tecidos de menor densidade. Ele é absorvido pelas partes mais densas do corpo, como os ossos e os dentes. Em razão dessa característica, o principal uso dos Raios X é em radiografias para diagnóstico médico.

Essa capacidade de penetrar nos nossos tecidos faz dos Raios X um perigo em potencial, pois a exposição prolongada a eles pode levar à formação de células cancerígenas. Por isso, pessoas que trabalham com radiografias usam aventais de chumbo (que não permitem que essas radiações atravessem) e se mantêm longe no momento do disparo atrás de uma placa de chumbo.

Ele também é usado industrialmente, para observar a estrutura interna de objetos, procurando ver se há falhas em sua estrutura, até mesmo como controle de qualidade.

Na Geologia, uma das suas aplicações é na investigação geológica, por intermédio da difração destas radiações, é possível analisar, de forma não destrutiva, a estrutura interna dos minerais, ao registrar como os seus cristais interagem com a radiação.

Em aeroportos e portos os Raios X são aplicados nas bagagens e *containers* a fim de analisar os objetos presentes, identificando armas, drogas ou outros itens não permitidos. Essa radiação é medida por duas camadas de receptores: a radiação fraca (bloqueada por algum objeto) é captada por ela, mas não passa do filtro de cobre que separa as camadas, mas a radiação forte atravessa o filtro de cobre e chega aos receptores da segunda camada. O computador interpreta os dados recebidos pelos receptores de 1 e 2. Se a radiação não chegou nem à camada 1, significa que há um metal na mala. Se chegou à camada 1, mas não à 2, há um material misto. Se chegou à camada 2, é orgânico. O computador utiliza cores para distinguir os objetos (Figura 1.19), de acordo com o material.

Figura 1.19 – Imagem demonstrando o uso de Raios X em aeroportos. À esquerda se pode observar um operador verificando os pertences no interior das malas que passam pelo aparelho. À direita destacamos o efeito dos Raios X em uma mala de viagens. Esta é uma prática comum nos aeroportos de modo que não sejam despachados produtos ilegais.



Fonte: <https://airway.com.br/wp-content/uploads/2015/12/raiox_aerosol_02-750x500.jpg>

Na área de alimentos, os Raios X são usados para gerenciar riscos e falhas: no controle de qualidade; verificar vazios ou bolhas de gás; identificar componentes fora do tamanho, faltantes ou até mesmo ausência; conferir se há presença de rachaduras ou fissuras no produto e ou embalagem; identificar aglomerações em produtos em pó; conservação de alimentos, pois, com a irradiação a indústria consegue aumentar o tempo de conservação.

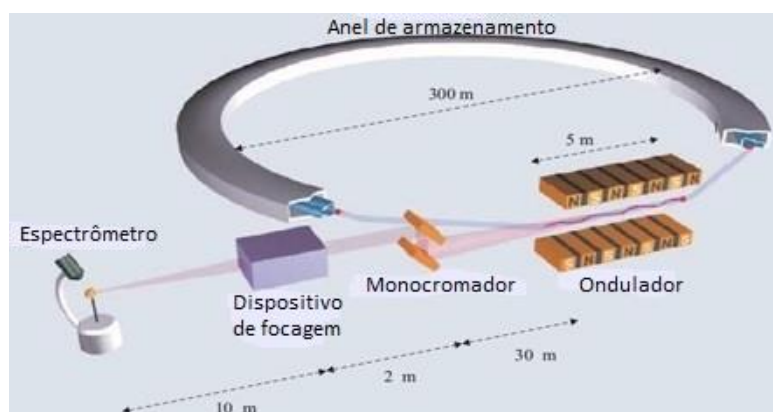
Portanto, os Raios X, desde sua descoberta, até os dias atuais, têm grande aplicação e continuam como tema de estudos e pesquisas na Física, apresentada a seguir.

1.2.2.4 b Aplicação em Pesquisa na Física - Radiação Síncrotron²¹

Há também estudos e pesquisas, que envolve a produção das radiações do tipo Ultra Violeta (UV), Infra Vermelho (IV) e a de Raios X, que são denominados de Radiação Síncrotron ou Luz Síncrotron,

Esse termo, radiação Síncrotron é usado como um termo genérico para descrever radiação de partículas carregadas viajando em velocidades ultra relativísticas em um campo magnético, que as forçam a viajar ao longo de um caminho com curvas, sempre sincronizado. O sistema injetor é o que vai produzir o feixe de elétrons e acelerá-los até atingir uma determinada energia necessária para a etapa principal, que é o anel de armazenamento (Figura 1.20).

Figura 1.20 – Ilustração (tradução da autora) do processo de obtenção de Raios X - Anel de Armazenamento Síncrotron.



Fonte: apud Espectroscopia de raios X – UFPR <http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf>

²¹ Este texto é parte do texto utilizado como material didático da UFPR, disponível no site: <http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf>, do site do LNS_Sirius_Campinas, disponível em: <<https://www.lnls.cnpem.br/sirius/introducao-a-maquina/>>, do LNS_Campinas disponível no site: <<https://www.lnls.cnpem.br/grupos/fac/>> e LNLS_Projeto Sirius, 2014.

Nesta figura temos a representação de um acelerador de partículas, no qual as partículas injetadas são medidas a partir do espectrômetro²² e direcionada ao monocromador (equipamento que seleciona comprimentos de ondas distintos) por meio de um dispositivo de foco. Após passar pelo monocromador o feixe é direcionado para um conjunto de ímãs, chamado de ondulador, cuja função é desviar a partícula do caminho inicial para fazer as curvas do anel circular (de armazenamento), tudo isso com ação de um campo magnético. Após inseridas nesse anel as partículas viajam e possuem suas trajetórias delimitadas, graças a ação de uma câmara a vácuo. Há algumas cavidades de radiofrequência que são usadas para repor a energia perdida pelas partículas e também usadas para acelerar os feixes quando necessários.

A radiação Síncrotron é então produzida em anéis de armazenamento (Figura 1.20) onde os elétrons e os pósitrons são mantidos circulando com energia constante.

Portanto, em um acelerador do tipo Síncrotron, o feixe de partículas carregadas é guiado em órbitas circulares por um conjunto de eletroímãs. O campo magnético produzido pelos eletroímãs age de forma **sincronizada** sobre as partículas, que a cada volta possuem velocidades e, portanto, energias cada vez maiores. Desta ação sincronizada vem o nome acelerador Síncrotron.

A luz Síncrotron pode penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica. Por apresentar um amplo espectro, essa radiação permite aos pesquisadores utilizar os comprimentos de onda mais adequados para o experimento que desejarem executar. O alto fluxo e o alto brilho também proporcionam a realização de experimentos mais rápidos e a investigação de detalhes cada vez menores, com resolução espacial de nanômetros.

Está situado no Brasil o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron²³ (LNLS) ele é responsável pela operação das duas fontes de luz Síncrotron da América Latina. O LNLS começou a ser projetado em 1987 e foi inaugurado após 10 anos em 1997. A maior parte dos componentes presentes no acelerador do LNLS foi fabricada no próprio laboratório, o que possibilitou que a atual fonte fosse construída com um índice de nacionalização de 85%. Em 1º de julho de 1997 a fonte de luz Síncrotron UVX é aberta à comunidade de ciência e tecnologia. Pouco antes, em abril do mesmo ano, havia sido aberta a primeira chamada para que os pesquisadores desenvolvessem

²² Instrumento óptico utilizado para medir as propriedades da luz.

²³ O LNLS é uma instituição brasileira de pesquisa em física, biologia estrutural e nanotecnologia desenvolvendo projetos nas áreas de Física, Química, Engenharia, Meio Ambiente e Ciências da Vida, localizado na cidade de Campinas – SP.

suas pesquisas no Síncrotron.

Na época, a fonte contava com sete linhas de luz: estrutura fina da absorção de Raios X (XAS), espectroscopia de Raios X moles (SXS), espalhamento de Raios X a baixos ângulos (SAXS), difração de Raios X (DRX), cristalografia de proteínas (PCR) e duas linhas de espectroscopia no ultravioleta.

O outro acelerador, também administrado pelo LNLS é o SIRIUS²⁴ (Figura 1.21), inaugurado em 14/12/2018. O início de sua construção foi em 2014. Essa geração de radiação necessita de dois aceleradores, sendo um o sistema injetor: um linear (Linac – atua de forma pulsada – 2 vezes/s) e um Síncrotron injetor (*booster*) - recebe o pulso de corrente do Linac, e acelera até atingir a energia final, conduzindo via a linha de transporte até o anel de armazenamento. Este foi projetado para operar na energia de 3 GeV. Imagem e texto detalhado de seu funcionamento pode ser visto na referência: Projeto Sirius (2014, p. 22).

Figura 1.21 – Imagem fotográfica do SIRIUS. O acelerador de partículas possui 518 m de circunferência e emitância de 0,27 nm – rad.



Fonte: ALS-NIELSEN e McMORROW, 2011 apud Espectroscopia de Raios X – UFPR <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_\(acelerador_de_part%C3%ADculas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_(acelerador_de_part%C3%ADculas))>

Ambos os aceleradores, LNLS e o SIRIUS, estão situados no município de Campinas – SP.

Na próxima subseção, apresenta-se a contextualização para o uso de um equipamento de Raios X, para acesso de forma remota em aulas de Física no Ensino Médio..

1.3 A Experimentação no Ensino de Física – Uso do Equipamento de Raios X via Acesso Remoto

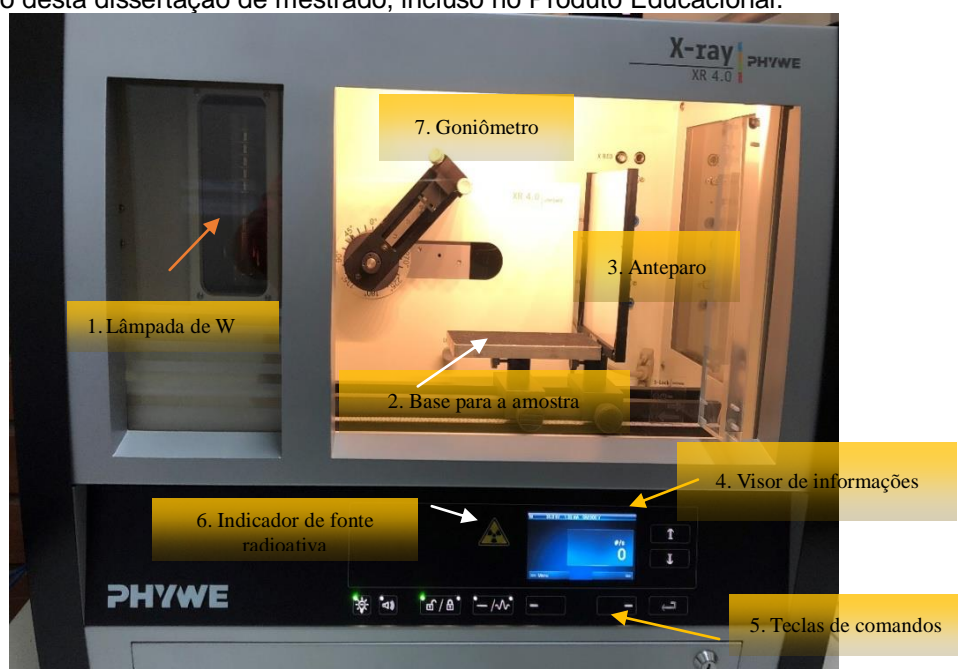
²⁴ Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_\(acelerador_de_part%C3%ADculas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_(acelerador_de_part%C3%ADculas))>; O nome SIRIUS é em “homenagem” a estrela mais brilhante SIRIUS da nossa constelação. Website: <www.lnls.cnpem.br/sirius>

A componente curricular Física no Ensino Médio, de acordo com as Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Estado do Paraná (DCE's), tem como objetivo de estudo o Universo, sua evolução, suas transformações e as interações que nele ocorram (DCE's, 2008). Buscando contemplar esse objetivo de estudo da componente curricular, a experimentação no ensino de Física pode servir como uma aliada na compreensão do objetivo de estudo. A humanidade sempre se preocupou em entender a natureza e seus fenômenos, mediante a fundamentação de inúmeros conhecimentos. Neste processo, a experimentação sempre esteve presente como coadjuvante no processo evolutivo da Física, mostrando ao longo da história o seu *status* de ciência da experiência.

As atividades experimentais são consideradas ferramentas eficazes para a contextualização do ensino da Física, abrangendo desde a mera verificação de leis e teorias até experimentos que privilegiam as condições para os alunos refletirem a respeito dos fenômenos e conceitos abordados, visando uma reestruturação conceitual (Couto, 2019).

Na aplicação e desenvolvimento da Sequência Didática (SD) proposta nesse trabalho, a experimentação se faz presente a partir do uso de um equipamento de Raios X (PHYWE), modelo: EXPERT 4.0, Figura 1.22, que se encontra na Universidade Estadual de Maringá, Bloco G 68 sala 14.

Figura 1.22 – Imagem fotográfica do aparelho de Raios X do tipo EXPERT 4.0 (PHYWE) utilizado para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado, incluso no Produto Educacional.



Fonte: arquivos da autora.

As partes principais do equipamento, na Figura 1.20, são:

1. Lâmpada de Tungstênio (W);
2. Suporte para objeto;
3. Anteparo onde é formada a imagem dos objetos;
4. Visor para indicar informações relacionadas ao equipamento como se está ou não funcionando, qual a voltagem e corrente;
5. Teclas de comando para acender e apagar a luz, travar e destravar aparelho e acionar e desligar a medida de Raios X;
6. Luz que indica a emissão de radiação;
7. Goniômetro, usado para medir ângulos, (não foi utilizado na prática apresentada pela autora).

No equipamento é possível realizar experimentos com Raios X aplicados a diversos objetos, com um tamanho limitado de aproximadamente 12 *cm*, pois para visualizar a imagem de Raios X, os objetos são colocados sobre a base indicada por (2) na Figura 1. .

O equipamento foi utilizado na função de radiologia por acesso remoto, e o método utilizado foi o de absorção de Raios X, em que é importante considerar principalmente, a densidade, espessura do material a ser analisado, número atômico, meios de contraste e diferença de potencial. Uma análise via espectro, bem como o uso do goniômetro, pode ser vista na referência (Oliveira, 2016).

CAPÍTULO 2 – PRODUTO EDUCACIONAL E APLICAÇÃO

O Produto Educacional (PE) elaborado neste trabalho é uma Sequência Didática (SD) baseada em Zabala, 1998. Para ele, sequências didáticas são:

“[...] um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos [...] há três fases: planejamento, aplicação e avaliação...”(ZABALA,1998, p.18).

2.1 Planejamento e Elaboração do Produto Educacional

Mesmo antes de cursar o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), a autora sempre sentiu necessidade de propiciar a seus alunos experiências e situações que corroborassem com o Ensino de Física. No entanto, sempre encontrou diversas barreiras: escola pequena, pouca infraestrutura, falta de recursos tecnológicos, baixo interesse por parte dos alunos em dar continuidade aos estudos, falta de interação entre escolas e universidades e outros. Ao ingressar no MNPEF, algumas dessas barreiras foram rompidas e a vontade de realizar algo inédito na escola era enorme. Ao tomar conhecimento do aparelho de Raios X na Universidade Estadual de Maringá (UEM), a autora sentiu necessidade de levar esse conhecimento também aos alunos da escola na qual lecionava. Para isso, começaram as pesquisas e leituras de como isso seria possível.

Tendo conhecimento de que o estudo de Raios X é abordado dentro do conteúdo de Ondas Eletromagnéticas para alunos do terceiro ano do ensino médio, porém de maneira superficial, e de que nos materiais disponíveis, raramente apresentavam um estudo mais detalhado sobre Raios X e sequer havia sugestões de atividades experimentais, a autora ficou determinada a planejar um conjunto de atividades para confirmar a importância dos Raios X para a Física, desde sua descoberta até os dias atuais.

A primeira etapa consistiu em conhecer e aprender a manusear o aparelho de Raios X da UEM que já estava em uso no âmbito MNPEF, o mesmo foi usado por Oliveira (2016) para desenvolver seu produto educacional também via acesso remoto. No entanto, com enfoque bem diferente do apresentado pela autora, que afirma, após

ter conhecimento, de que o aparelho ainda não havia sido utilizado para captura de imagens de objetos. Foi necessário inutilizar o medidor de ângulo do equipamento, (instrumento conhecido como goniômetro) para começar a testar inúmeros objetos para obter a melhor imagem. Concomitantemente com a experimentação a autora realizava estudos de como promover e contribuir com a aprendizagem significativa e também como seria possível elaborar uma proposta pedagógica baseada numa Sequência Didática.

Inicialmente, foram realizados vários testes obtendo as imagens de Raios X utilizando frutas, tais como: uva, pera, ameixa, pêssigo e o Urucum (pertence a espécie *Bixaorellana*) Figura 2.1; amendoim que é uma leguminosas (*Arachishypogaea*).

Figura 2.1 – Fotografia do aparelho de Raios X do tipo EXPERT 4.0 (PHYWE) contendo um objeto para análise. Neste caso o objeto é o fruto de *Bixaorellana*, conhecida comumente como Urucum ou colorau. No lado esquerdo a ampola de tungstênio (W) ligada, e indicada na parte inferior.



Fonte: arquivos da autora.

O Urucum (*Bixaorellana*) foi apresentado como sugestão, por fazer parte do cotidiano dos alunos na qual a autora atua como docente, região noroeste do Paraná, em que muitos trabalham na colheita ou em cooperativas deste fruto (Inajá fica a 21 Km de Paranacity a capital do Urucum).

Após os testes com elementos de conhecimento da região do público alvo, utilizou-se como amostra uma calculadora dentro da embalagem original como ilustra a Figura 2.2.

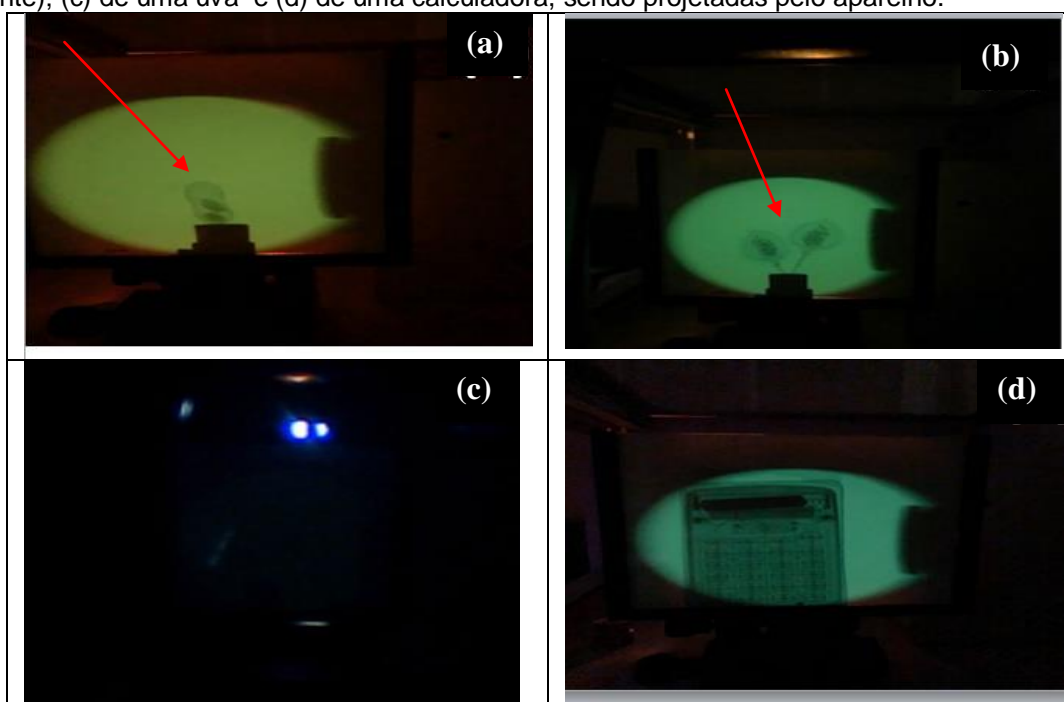
Figura 2.2 – Fotografia registrada no momento em que fora inserida uma calculadora comum dentro da embalagem (indicado pela seta em vermelho) no aparelho de Raios X.



Fonte: arquivos da autora.

Observando as imagens formadas com a aplicação dos Raios X, verificou-se que as imagens que ficaram mais nítidas, devido à absorção (subseção 1.2.2.2), foram a do amendoim (Figura 2.3(a), Urucum (Figura 2.3(b)) e calculadora (Figura 2.3(d)). A ameixa (Figura 2.3(c)) e as demais frutas não apresentaram uma imagem nítida. Assim, definimos que o Urucum e a calculadora seriam os objetos a serem utilizados na SD. Além de se obter as melhores imagens, ressaltamos que o Urucum é encontrado fartamente na região de Inajá fazendo assim, parte do cotidiano dos alunos.

Figura 2.3 – Imagem fotográfica contendo os resultados dos objetos/alimentos utilizados no aparelho de Raios X. A imagem de Raios X: (a) de um fruto de amendoim; (b) de dois frutos de Urucum (com semente); (c) de uma uva e (d) de uma calculadora, sendo projetadas pelo aparelho.



Fonte: arquivos da autora.

Por se tratar de uma escola com distância aproximada de 100 quilômetros da Universidade Estadual de Maringá (UEM) onde se encontra o equipamento de Raios X, a autora decidiu também que faria uso do acesso remoto para realização da experimentação com os alunos.

Desta forma, duas ações já estavam definidas: a experimentação e o uso de tecnologias no espaço escolar (acesso remoto). Para isso foram elencados programas (*softwares*) e aplicativos gratuitos, no qual são necessários realizar o *download* e instalação nos computadores, antes da utilização do acesso remoto. São eles:

- *Team Viewer 11*, um programa livre e gratuito que permite o acesso remoto, que deve ser instalado no computador da escola e no laboratório da UEM;
- *Measure*, um programa que controla o equipamento de Raios X (*EXPERT 4.0 - PHYWE*). Esse vem em um *CD* juntamente com o manual do aparelho;
- *Mydlink*, um aplicativo oficial da D-Link que controla nuvens pessoais com roteadores e câmeras, é um aplicativo de fácil *download*, no qual possibilita a visualização de câmeras ao vivo via nuvem usando conexão *Wi-Fi* ou 3G.

Após a escolha dos programas e aplicativos necessários para o acesso remoto e a experimentação, foi dada continuidade aos estudos teóricos, planejando assim um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas, buscando alcançar o objetivo educacional.

2.2 Apresentação e Aplicação do Produto Educacional

Buscando proporcionar uma maior aproximação do aluno do Ensino Médio com o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea e fazendo uso de tecnologias educacionais no espaço escolar por meio do Acesso Remoto desenvolveu-se a Sequência Didática.

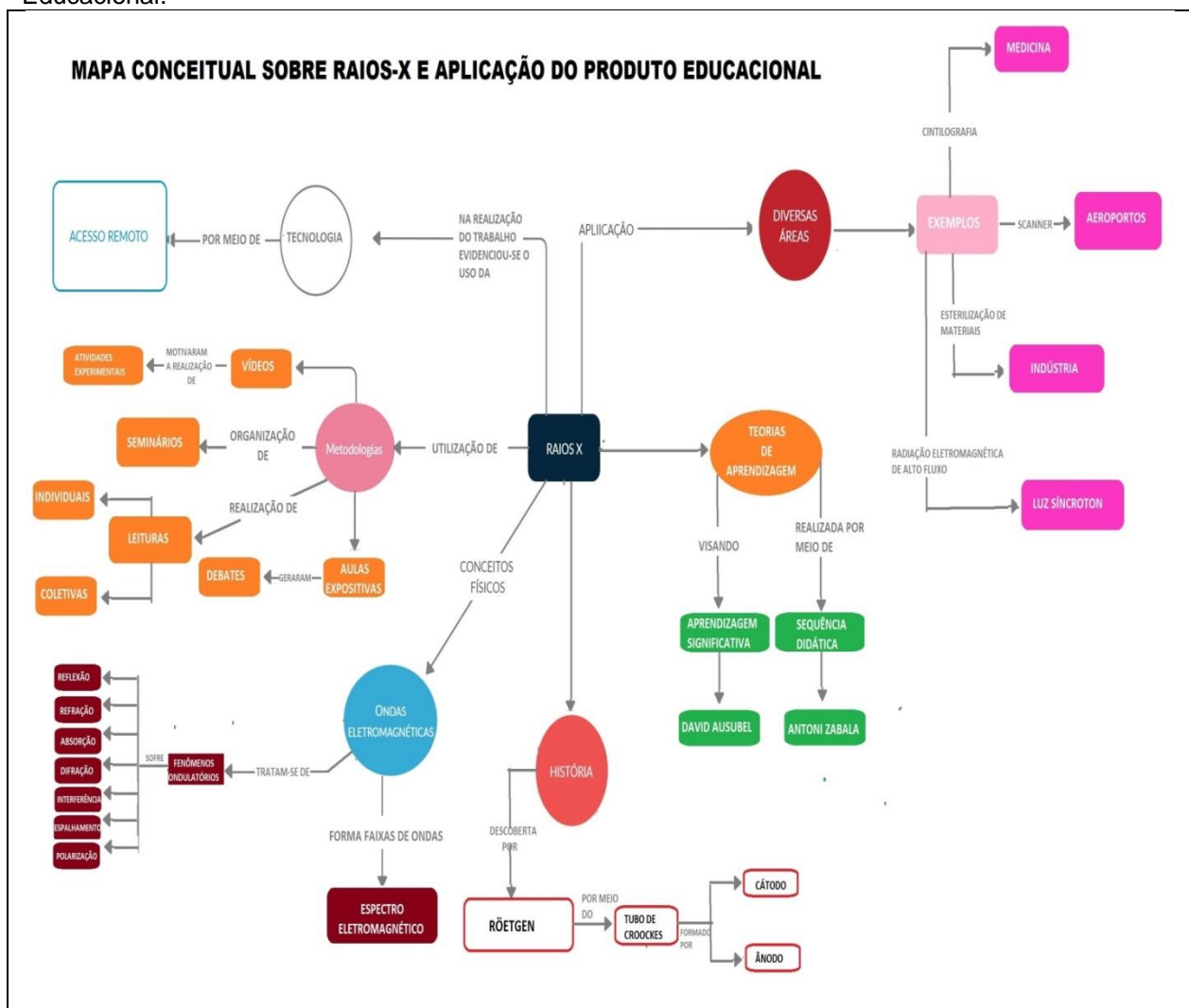
O conteúdo abordado é o de ondas eletromagnéticas, especificamente as ondas de Raios X. Esse conteúdo ao ser abordado na componente curricular de Física no Ensino Médio, muitas vezes é bem superficial, sem atividades experimentais e apenas em forma de textos.

Nesta SD relacionam-se o cotidiano, o conteúdo científico e a experimentação apresentando diversas possibilidades didático-metodológicas.

O objetivo principal ao planejar e aplicar essa SD, é o de proporcionar uma

aprendizagem significativa, ou seja, que os novos conhecimentos relacionem-se com o conhecimento prévio que o aluno possui, e que esses tenham significados. Acreditando-se também que os alunos possam sentir-se mais motivados e consigam relacionar e valorizar a importância da Física como Ciência. Destaca-se que o autor ao iniciar a escrita do Produto Educacional, elaborou o seu mapa conceitual, esse que serviu como um norteador de todo o trabalho proposto conforme Figura 2.4.

Figura 2.4 – Imagem do Mapa conceitual elaborada pela autora no início da elaboração do Produto Educacional.



Fonte: a autora

A aplicação desta SD é sugerida para o terceiro ano do Ensino Médio, na componente curricular Física, com o uso de 8 aulas de 50 minutos cada.

Há nesta SD sugestões e aplicações de diversas metodologias e práticas pedagógicas, inclusive a experimentação.

Para realização da experimentação há uma parceria com o Laboratório de Acesso

Remoto que possui um equipamento de Raios X (EXPERT 4.0 - PHYWE), na Universidade Estadual de Maringá. Utilizou-se esse aparelho de Raios X para capturar imagens de uma calculadora no interior da sua embalagem e da fruta Urucum na forma original (dentro da casca) que foram previamente selecionados na fase do planejamento. Tal captura é feita via acesso remoto em tempo real, por alunos e professores situados na própria escola. Contou-se com a colaboração do Prof. Me. Ivanildo Fabrício de Oliveira, para a parte técnica.

Como instrumentos avaliativos utilizaram-se mapas conceituais e seminários. O mapa conceitual é usado inicialmente para avaliar o conhecimento prévio do aluno, o seminário é usado durante a aplicação do conteúdo e para finalizar utiliza-se outro mapa conceitual para comparar com o inicial e analisar a evolução da aprendizagem, verificando assim se objetivo foi atingido.

2.3 Práticas Pedagógicas e Materiais Utilizados

Contempla-se nesta Sequência Didática as seguintes práticas pedagógicas:

- a) O uso de Mapas Conceituais;
- b) A pesquisa e o trabalho como princípios educativos;
- c) Uso de tecnologias educacionais – “*Mobile learning*” e o Acesso Remoto;
- d) Experimentação.

Para a aplicação desta SD são necessários os seguintes materiais, equipamentos, programas e aplicativos:

- a) Papel sulfite para elaboração dos Mapas Conceituais;
- b) Livros diversos para pesquisa bibliográfica;
- c) Projetor multimídia para apresentações dos seminários e vídeos;
- d) Computadores com acesso à *internet*;
- e) Objetos diversos (Urucum e calculadora) para realização de Raios X
- f) Equipamento de Raios X (EXPERT 4.0 - PHYWE) – Disponível no Bloco G68 sala 14 – DFI – UEM;
- g) Programas Computacionais (*softwares*): *Team Viewer* 11; *Windows* 10 ou *Linux*; e *Mydlink*.

2.4 Apresentação e Aplicação da Sequência Didática (SD)

A utilização da sequência didática sobre Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X encontra-se presente nas Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (DCE-PR, 2008), na componente curricular Física, no conteúdo estruturante eletromagnetismo. Também encontra-se presente na Proposta Pedagógica Curricular de Física do Colégio Estadual Barão do Rio Branco (CEBRB), Inajá, PR.

Desenvolveu-se a SD com estudantes da Terceira Série do Ensino Médio, na qual se realizou um estudo mais detalhado sobre ondas eletromagnéticas em especial, Raios X. Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas, Raios X de objetos presentes no cotidiano (experimentação), debates e mapas conceituais, favorecendo assim a aprendizagem significativa e buscando evidenciar o aluno como sujeito ativo e protagonista, visto que nos anos anteriores o conteúdo era abordado superficialmente, apenas com o uso do livro didático público, na qual o aluno era apenas o receptor.

Na elaboração desta SD como Produto Educacional, buscou-se relacionar as atividades com as reais necessidades dos educandos, levando em consideração as concepções prévias dos alunos e as condições para aprendizagem significativa, pois segundo Zabala (1998):

“para compreender o valor educacional de uma sequência didática e as razões que a justificam, é necessário identificar suas fases, as atividades que a conformam e as relações que se estabelecem. A partir daí, pode-se introduzir mudanças ou atividades novas que a melhorem, tendo em vista atender às reais necessidades dos educandos.”(ZABALA,1998,p.54)

As atividades presentes na SD são ordenadas de maneira a aprofundar o tema que está sendo estudado.

As práticas pedagógicas e metodologias presentes são: leituras, aulas dialogadas, seminários, uso de tecnologias educacionais, elaboração de mapas conceituais, vídeos e experimentos com acesso remoto.

Desta forma cabe ao professor ser o interlocutor e mediador das atividades propostas. Para facilitar, detalhar e deixar mais claro a organização desta SD apresenta-se uma “ficha técnica” e, posteriormente, a estrutura das aulas.

2.4.1 Ficha Técnica – Sequência Didática

A seguir, apresentamos o Quadro 2.1 que relaciona alguns itens importantes para a aplicação das aulas a serem desenvolvidas. O Quadro relaciona informações, tais como, público alvo, duração das aulas (estimativa), conteúdos a serem desenvolvidos, metodologias e recursos didáticos e tecnológicos e avaliação (instrumentos e critérios).

Quadro 2.1 – Ficha Técnica da Sequência didática.

TEMA - Ondas eletromagnéticas com ênfase em Raios X	
TIPO - Investigação Científica e Aprendizagem significativa	
PÚBLICO ALVO - Alunos da 3ª série do Ensino Médio	
DURAÇÃO - 08 aulas ²⁵	
CONTEÚDO: -Contextualização do surgimento da Física Moderna e Contemporânea a partir do final do século XIX; -Ondas eletromagnéticas; -Espectro Eletromagnético; -Produção e aplicação de Raios X na tecnologia; -Noções de Física Nuclear - Acelerador de partículas – Luz Síncrotron.	
OBJETIVOS: -Compreender e relacionar a importância, a presença e a evolução da Física para a humanidade; -Analisar e diferenciar os tipos de ondas eletromagnéticas; -Entender o espectro eletromagnético; -Reconhecer a importância da descoberta dos Raios X, bem como diferenciar fontes naturais de fontes artificiais que emitem os Raios X; -Identificar as diferentes áreas de aplicação dos Raios X com a evolução tecnológica; -Compreender a importância dos Raios X nos dias atuais destacando a descoberta da Luz Síncrotron.	
METODOLOGIAS: -Mapas Conceituais; -Pesquisas bibliográficas; -Textos; -Vídeos;	RECURSOS DIDÁTICOS E TECNOLÓGICOS: -Livros didáticos e paradidáticos; - Laboratório de informática; -Notebook e retroprojeter (<i>Mobile learning</i>);

²⁵Considera-se que cada hora-aula contenha 50 minutos de duração.

-Uso do Acesso Remoto – Laboratório UEM – LARI	-Cópias reprográficas (“xerox”) e impressão de materiais; -Lousa e pincel.
<p>AVALIAÇÃO:</p> <p>- Elaboração de mapas conceituais e comparação entre mapa conceitual inicial com o final, fazendo uso da teoria da aprendizagem significativa de D. Ausubel. Avaliação diagnóstica, o mapa inicial para identificar conhecimentos prévios e o mapa conceitual final para verificar se houve avanços no processo ensino-aprendizagem.</p> <p>-Apresentação de seminários, com os seguintes critérios de avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Postura do aluno; ▪ Conteúdo da pesquisa; ▪ Domínio do conteúdo pesquisado; ▪ Criatividade; ▪ Organização da ideias principais. 	
<p>Referências Bibliográficas recomendadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais Mais: Ensino Médio – Brasília: Ministério da Educação, 2001. 2. BURKARTER, E. et al. Livro Didático Público – FÍSICA – 2ª. Edição. SEED-PR, Curitiba: 2007. Cap. 12 pág. 195. 3. CHIBENI, Silvio Seno AS ORIGENS DA CIÊNCIA MODERNA Disponível em:<www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>Acesso em 10 de Maio de 2018. 4. GASPAR, A. – Compreendendo a Física Eletromagnetismo e Física Moderna – Volume 3. Editora Ática, 2ª. Edição; São Paulo: 2014. 5. GOULART, Cláudia. As práticas orais na escola: o seminário como objeto de ensino. Campinas, 2005. 228p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Estudos da Linguagem, 	

Fonte: adaptado da referência Nitsche, 2019.

2.4.2 Estrutura das Aulas

Apresenta-se, nesta seção, o Quadro 2.2, que consta a estrutura das aulas a serem desenvolvidas, bem como, dados relacionados a estas aplicações.

Quadro 2.2 – Estrutura das aulas e conteúdo de cada aula.

Identificação

Instituição - Colégio Estadual Barão do Rio Branco EFM e EJA

Turma - 3ª série A

Nº de Alunos - 34

Professora - Ana Paula Bim Maldonado

Trimestre - 3º trimestre/2018

AULA 1

Diálogo para apresentação do trabalho a ser realizado (SD), informações com relação à autorização e aplicação.

- **Atividade 1-** Investigando o conhecimento prévio do aluno (identificar possíveis subsunçores):

Entrega de uma folha com a palavra Raios X, solicitando aos alunos que reflitam, busquem relacionar outras palavras ao tema e escreva-as na folha, construindo assim cada aluno um mapa conceitual.

Os alunos já tinham conhecimento de mapas conceituais. Modelo no Apêndice A.

AULA 2

- Uso de organizadores prévios que serviram de âncora para a nova aprendizagem. Os temas foram estabelecidos, no entanto o aluno pode ser visto como agente construtor, pois tem a liberdade de escolher quais materiais pretende usar, de que forma, quais recursos, com qual linguagem irá conseguir se identificar e como irá abordar o tema.
- Divisão dos alunos em 6 grupos, com sorteio e orientações aos grupos sobre os temas para pesquisa e posterior (aulas 4 e 5) apresentação em forma de seminários. Por se tratar de uma turma numerosa foram necessários os 50 minutos da aula para organizar e orientar os grupos sobre os seminários. Os temas foram estabelecidos para ter uma sequência, no entanto, cada grupo ficou livre para usar as ferramentas e metodologias que julgassem necessárias para elaboração e apresentação dos seminários.

TEMAS:

1. O que são ondas e como podem ser classificadas;
2. Ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético com ênfase em Raios X;
3. Como surgiram os Raios X, uma visão histórica;
4. Produção de Raios X, propriedades e difração;
5. Detecção de Raios X e aplicações na saúde e na alimentação;

6. Aplicação dos Raios X na indústria, segurança e investigação científica (novas descobertas).

AULA 3

➤ **Atividade 2** - Leitura coletiva de um texto científico para compreender a origem da Física Moderna. Acreditando ser fundamental para o aluno a familiarização de textos mais complexos, visto que estão próximos de tornarem-se Universitários.

➤ Título do texto - As Origens da Ciência Moderna - (Chibeni, 2018).

Aula Expositiva com debates sobre a Física Moderna e Contemporânea.

AULAS 4 e 5

➤ **Atividade 3** - Apresentação dos seminários dos grupos distribuídos e organizados na aula 2, com duração média de 15-20 minutos.

AULA 6

Nesta aula os alunos trabalharam individualmente com a leitura e síntese de um texto sobre Raios X com o título: Raios X: fascinação, medo e ciência. Pretendeu-se agregar novos significados ao subsunçor, de acordo com a teoria de Ausubel.

➤ **Atividade 4** – leitura e elaboração de uma síntese sobre o texto.

Título: Raios X: fascinação, medo e ciência (Lima, 2009).

AULA 7

-O professor fará uma abordagem sobre Acesso Remoto e apresentará o Aparelho de Raios X do Laboratório de Acesso remoto da UEM.

➤ **Atividade 5** - Atividade Experimental – Manipulação do equipamento de Raios X por acesso remoto em tempo real, com realizações de experimentos utilizando objetos presentes no cotidiano. Atividade realizada com a participação de diversos alunos. **Roteiro da Atividade Experimental – Apêndice B.**

➤ **Atividade 6** - Após experimentação, realizar uma discussão sobre os resultados obtidos e da experiência realizada.

AULA 8

➤ **Atividade 7** - Vídeo abordando a evolução da Física junto a tecnologia.

Título: SÍNCROTRON – APLICAÇÕES NA CIÊNCIA (LNLS, 2018).

Debate sobre o vídeo. Após, sugestão de acesso e leitura ao *site* do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS, 2018).

➤ **Atividade 8- Análise Final** - Entrega de uma folha com a palavra Raios X e elaboração de um novo mapa conceitual para análise e verificação da aprendizagem significativa (avaliação). Sabemos que não há uma receita para

efetivação da aprendizagem significativa, no entanto, foi proporcionado ao aluno diversas condições que pudessem contribuir para um ensino crítico, significativo e transformador.

2.4.3 Processo de Avaliação

Para avaliar é necessário recorrer a diversos instrumentos. De acordo com as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná de Física (2008), a avaliação oferece subsídios para que tanto o aluno quanto o professor acompanhem o processo de ensino-aprendizagem.

Com os instrumentos propostos nesta SD, pretende-se que o aluno possa ampliar, resignificar ou aprimorar seus conceitos relacionados aos Raios X, como aplicação, presença no cotidiano e sua relação com a Física Moderna.

Diante do exposto, apresentamos nas subseções a seguir, os processos de avaliação inerentes a algumas aulas realizadas.

2.4.3.1 Concepções acerca da Aula 1 – Mapa Conceitual

De acordo com Novak e Cañas (2007), os mapas conceituais podem servir como recurso didático, instrumento de avaliação e ferramenta de intervenção. É um recurso didático, com possibilidade de facilitar a aprendizagem, por meio de diagramas que são elaborados a partir de um conceito. Como ferramenta de intervenção na qual professores e alunos podem utilizar na organização ou planejamento de estudo. Para Moreira (2010), como instrumento de avaliação, o mapa conceitual favorece a compreensão e conexão de conceitos por meio da cognição do indivíduo.

Aplica-se o Mapa Conceitual com o objetivo de diagnosticar o conhecimento prévio que o aluno traz sobre o tema. Neste trabalho o mapa conceitual foi usado como instrumento de avaliação.

2.4.3.2 Concepções acerca das Aulas 4 e 5 – Seminários

O seminário consiste numa exposição, ou melhor, numa apresentação oral de determinado tema, geralmente é um trabalho realizado em grupos. O seminário possibilita um processo sistemático e aprofundado de leitura, análise, interpretação de

textos e dados a fim de se formular um problema de pesquisa, uma hipótese e se conduzir uma investigação.

O uso do seminário como avaliação, permite ao professor ter autonomia para decidir os critérios de avaliação e a forma como o seminário vai ser conduzida. Campos (2006), afirma que na aplicação do seminário estimula-se o desenvolvimento de outras três técnicas de ensino: a exposição, o debate e o ensino com pesquisa. É visto como um instrumento muito complexo, pois requer diversas ações por parte do aluno para uma boa apresentação.

Para avaliar a apresentação do seminário, adotaram-se os seguintes critérios: postura do aluno; conteúdo da pesquisa; domínio do conteúdo pesquisado e a criatividade.

2.4.3.3 – Concepções acerca da Aula 8 – Mapa Conceitual

Nesta aula o Mapa conceitual é usado como um instrumento avaliativo de comparação e verificação, ou seja, compara-se com o mapa inicial no qual o aluno apresenta apenas os conhecimentos prévios e em seguida verifica se ocorreu uma aprendizagem significativa, se existe novas informações que se relacionam com as anteriores ou complementam as mesmas. Os mapas conceituais são de grande potencial, muitas vezes seu uso se restringe apenas a leitura, no entanto, é importante que possamos dar autonomia para que os alunos o elaborarem. Para isso, se faz necessário que o aluno tenha conhecimento do que é um mapa conceitual e o diferencie do mapa mental, visto que o mapa conceitual pode seguir um modelo hierárquico, mas não é regra. O importante na construção do Mapa conceitual é que os conceitos contextuais se destaquem mais do que os conceitos secundários ou específicos.

Como instrumento de avaliação, os mapas conceituais podem ser utilizados para identificar o que o aluno já sabe, o que é absolutamente relevante de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, enfatizando que o aprendiz é capaz de receber novas informações, racionalizar e assimilar com o que ele já conhece, o mapa conceitual permite uma visualização de conceitos e relações hierárquicas entre eles.

Logo, são bastante úteis para investigar, inferir, supor, dar indícios de mudanças na estrutura cognitiva dos alunos durante a instrução. Lembrando que não existe Mapa

Conceitual certo ou errado, o que se pode avaliar é o contexto, a relação dos conceitos com o tema proposto e a ligação entre eles.

Nesta SD, a avaliação final é realizada com o uso do mapa conceitual, é um diagnóstico tanto da aprendizagem do aluno, como da prática pedagógica do professor.

CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em cada aula trabalhada, no decorrer da aplicação da SD, buscou-se compilar os dados obtidos e analisar os respectivos resultados. A aplicação desta SD iniciou-se em 18 de setembro de 2018 constituída de 8 (oito) aulas de 50 minutos cada uma, distribuídas ao longo de quatro semanas.

As seções a seguir, apresentam as observações e resultados obtidos em cada uma das aulas realizadas Conforme apresentadas no Quadro 2.1 e 2.2.

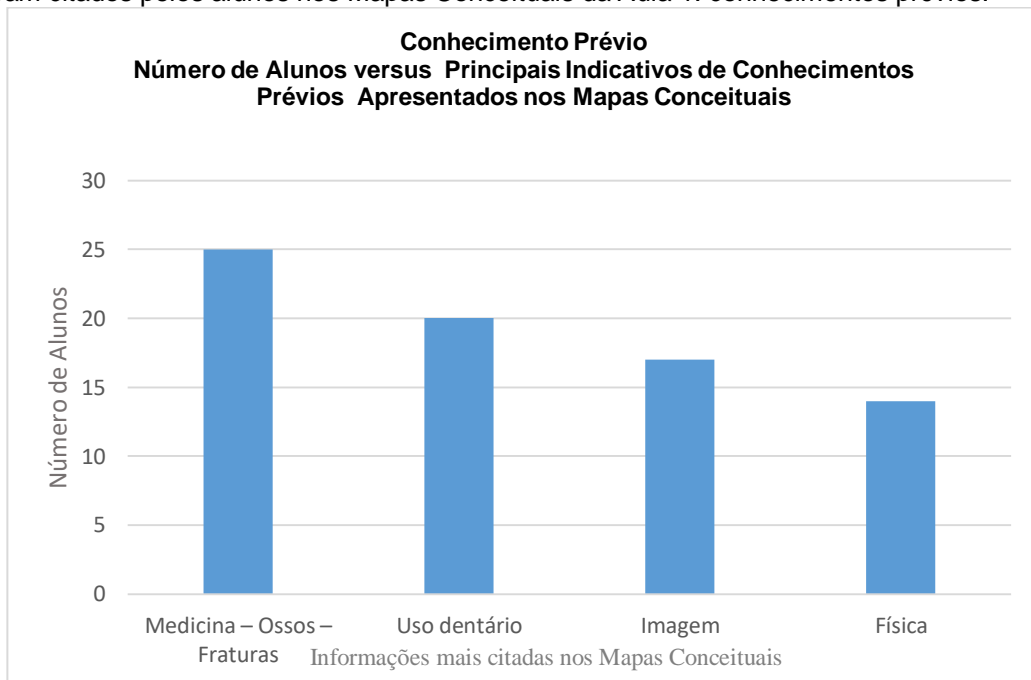
3.1 Análise da Aula 1- Apresentação e Identificação de Conhecimentos Prévios

Nessa primeira aula da SD, ao explicar que o desenvolvimento das atividades faria parte de uma dissertação de mestrado, os alunos sentiram-se um pouco inibidos. Mas, logo superaram a timidez e começaram a participar da atividade proposta que era a elaboração de um mapa conceitual sobre Raios X. Estavam presentes, nessa aula, 30 alunos e, para não expor suas identidades, eles foram identificados por números. Cabe ressaltar que esses alunos relataram que já haviam trabalhado em outras disciplinas com mapas conceituais. No entanto, ao participarem da elaboração do Mapa conceitual como instrumento avaliativo diagnóstico, apresentaram um pouco de receio na hora de organizá-lo, acredita-se que seja pelo fato de não fazer muito parte do cotidiano.

Analisando os mapas conceituais realizados, nessa primeira aula de aplicação do PE, foi possível observar que apareciam os mesmo conceitos em muitos dos mapas confeccionados, isto é, indicavam que havia um conhecimento prévio comum relacionado principalmente com imagens radiológicas de ossos utilizadas para a verificação de fraturas como também no uso de imagens odontológicas, conforme ilustrado as amostragens apresentadas nas figuras do Anexo B (Figuras ANB1.1 ao ANB1.4). Essas informações comuns que constavam nos mapas conceituais foram muito úteis, pois a partir das mesmas, conseguiu-se inferir os conhecimentos prévios dos alunos sobre Raios X e isso foi o ponto de partida da SD. As ideias que apareceram com maior frequência nos mapas conceituais sobre Raios X foram analisadas e constam na Figura 3.1.

Vale destacar que uma prática pedagógica não pode ser menos valorizada pelo fato do aluno apresentar dificuldades na mesma, o professor como mediador deve buscar repensar e identificar quais suportes podem ser dado, de modo a contribuir para a superação ou no mínimo para que o aluno amenize a dificuldade.

Figura 3.1 – Gráfico do número de Alunos versus indicativos de conhecimentos prévios. Conceitos que mais foram citados pelos alunos nos Mapas Conceituais da Aula 1: conhecimentos prévios.



Fonte: a autora.

Conforme Ausubel, com os resultados obtidos também foi possível ter um indicativo dos possíveis subsunçores, e esses serviram como âncoras. Realizando uma análise detalhada, foi constatado que nenhum aluno conseguiu inicialmente relacionar nos mapas conceituais os Raios X como onda eletromagnética. Essas respostas da aula 1 serviram de parâmetro para comparação no mapa conceitual elaborado no final da proposta.

3.2 Análise da Aula 2 – Organização de Seminários em Grupos

Nessa segunda aula, os alunos foram divididos em grupos e os temas sorteados, para que assim pudessem realizar a pesquisa e organizar os conteúdos para elaboração e apresentação dos seminários.

Foi necessário orientar cada grupo individualmente. Na divisão dos grupos a turma foi bem acolhedora, pois todos os alunos foram inseridos. Em geral, isso não

acontece nas atividades em equipes; há situações em que o professor tem que intermediar e ajudar na organização para que não haja alunos excluídos. O sorteio dos temas foi realizado por números, no qual um representante de cada equipe participou.

Os 50 minutos da aula foram totalmente usados, pois além do descrito, os alunos solicitaram esclarecimentos de como poderiam preparar os seminários. Ficou bem claro, para cada aluno, que eles seriam os autores, os protagonistas, pois a partir do tema, cada grupo teria que construir o seu trabalho, pesquisando, analisando as informações, elaborando os *slides*, editando vídeos, realizando experiências, enfim o que julgasse importante e significativo para compreensão dos conceitos envolvidos.

3.3 Análise da Aula 3 - Leitura e Discussão do Texto: “As Origens da Ciência Moderna”

Com o objetivo de obter uma definição de a Ciência Moderna com ênfase ao surgimento da Física Moderna e sua importância, nessa aula, foi sugerido à leitura coletiva do texto “As Origens da Ciência Moderna” (Chibeni, 2013).

Ao realizar essa atividade, alguns alunos se recusaram a ler quando solicitado, devido à forte timidez e à grande dificuldade com a leitura. Mas, quando observaram que a maioria da turma estava participando, esses mesmos alunos se ofereceram voluntariamente para ler; o que foi surpreendente.

A partir daí, a maioria dos alunos passaram a questionar e a participar da leitura dialogando durante essa atividade.

Dentre as questões que surgiram durante a leitura destacamos:

- **“Qual a definição de conhecimento científico?”**

- **“A Filosofia está relacionada com a Física?”**

Após o término da leitura e debate sobre as questões levantadas, observou-se que os alunos adquiriram noções sobre os temas abordados.

3.4 Análise das Aulas 4 e 5 – Apresentação e Avaliação dos Seminários

Todos os grupos prepararam *slides* com imagens, vídeos e textos. Como o seminário era uma atividade avaliativa, a nota foi individual, apesar da atividade ter sido realizada em grupo. Comunicou-se aos alunos os critérios que seriam avaliados,

os mesmos se preocuparam em estudar o conteúdo, não foi aceito que os alunos ficassem com textos ou anotações na mão, buscando assim que os mesmos adotassem estratégias e outras maneiras para compreenderem e lembrarem do conteúdo, conforme combinado na Aula 2 de orientação.

O Grupo 1 realizou o seminário e uma atividade experimental sobre o comportamento das ondas, usaram um recipiente plástico vedaram com um plástico transparente e sobre esse plástico colocaram pó de giz, abaixo desse recipiente está uma caixa de som, “conectada” ao *notebook* via *Bluetooth* (também pode ser conectada por um fio com saída USB) e alteraram os tipos de músicas, com diversos ritmos (Figura 3.2). Todos puderam visualizar o comportamento do sólido (pó de giz) a partir da mudança dos ritmos, da propagação da onda e das mudanças de frequências.

Figura 3.2 - Imagem fotográfica do aparato experimental para experimento realizado pelos alunos em sala de aula para ilustrar o efeito da onda sonora. Indica-se o pó de giz para observar esse efeito, e a caixa de som com um recipiente de plástico cobertos por uma folha de plástico utilizados na realização do experimento.



Fonte: arquivos da autora.

Também exemplificaram ondas mecânicas com o auxílio de uma corda, feita com meias de seda, conforme registrado e apresentado na Figura 3.3.

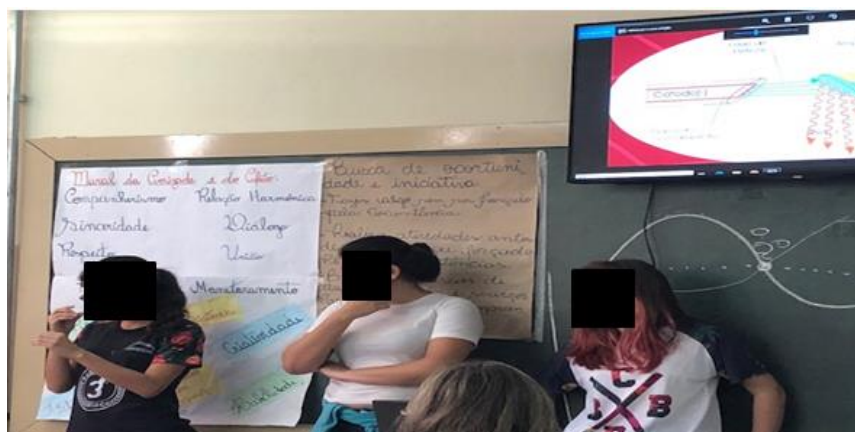
Figura 3.3 - Imagem fotográfica dos alunos apresentando o seminário e em destaque uma onda mecânica com material alternativo (meia de seda). Em destaque (a) a onda representada por meio de uma corda de seda.



Fonte: arquivos da autora.

O Grupo 2 usou vídeos e imagens para exemplificar as ondas eletromagnéticas e Raios X. O que surpreendeu a todos neste grupo foi a apresentação de uma aluna com deficiência auditiva. Até onde se sabe, ela não havia participado de exposição ou apresentação de seminários. Em geral, nas atividades da escola, sempre era ofertado a ela outro tipo de atividade, mas desde o início da aplicação da SD, ela foi muito participativa e se propôs a apresentar o seminário com a ajuda de um intérprete em libras. Foi emocionante, pois todos os alunos ficaram em silêncio e atentos a apresentação em Libras (Linguagem brasileira de sinais usada por deficientes auditivos). Eles visualizavam a linguagem de sinais e ouviam o intérprete. A Figura 3.4 ilustra esse momento.

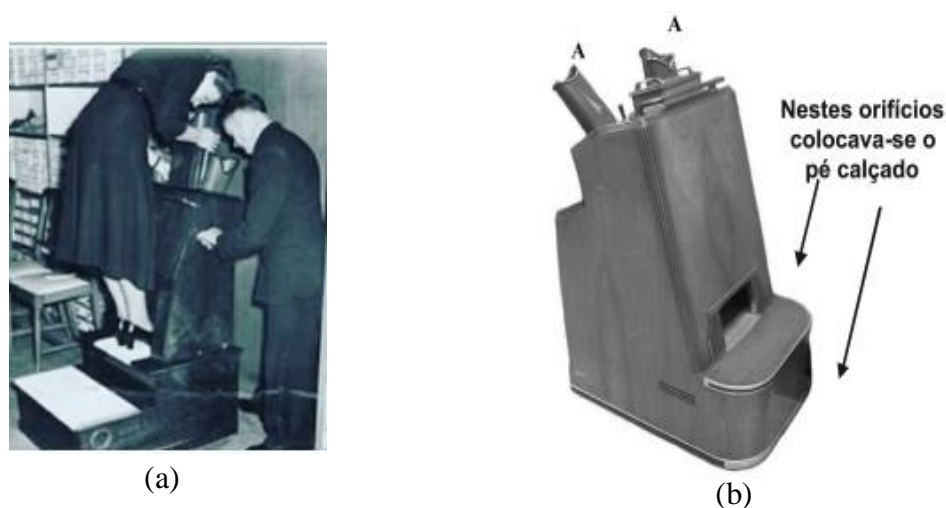
Figura 3.4 - Imagem fotográfica da apresentação do grupo 2. O diferencial deste grupo está na participação de uma aluna deficiente auditiva, realizando a sua apresentação em Língua Brasileira de Sinais (Libras).



Fonte: arquivos da autora.

O Grupo 3 apresentou *slides* e imagens sobre a descoberta dos Raios X com materiais pesquisados em artigos científicos; não ficaram restritos a *sites* que usam uma linguagem simplificada. Apresentaram o tema fazendo uso de uma linguagem complexa, com datas, curiosidades promovendo assim a participação dos demais alunos que não pertenciam ao grupo. Comentaram que após a descoberta dos Raios X as sapatarias, a partir de 1920, usavam as imagens para verificar como era a acomodação do pé dentro do calçado com os chamados pedoscópios (Figura 3.5).

Figura 3.5 – Imagem fotográfica de um “ Pedoscopio” fluoroscópio empregado nas grandes sapatarias na década de 20. (a) sendo utilizado e (b) o equipamento, as letras “A” por onde poderiam ser vistas as imagens projetadas pelo aparelho.



Fonte: (a) <<https://www.facebook.com/raiox2018/photos/hist%C3%B3ria-da-radiologiae-seus-perigos-radiol%C3%B3gico-pedoscopio-uma-caixa-de-raios/508418246656887/>> e (b) <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000100044>

Os alunos do Grupo 4 fizeram uso de vídeos e imagens para explicar a produção dos Raios X. Todos participaram e buscaram deixar bem claro para os demais colegas da turma as propriedades dessa radiação. Mas, não houve um destaque.

Enquanto que os alunos do Grupo 5 conseguiram despertar a curiosidade dos demais colegas de sala quando abordaram alguns vídeos com aplicação dos Raios X. Chamou muito a atenção uma reportagem²⁶ dos Raios X usados em *containers* nos portos para analisar o tipo de conteúdo, e outro vídeo com trechos da série *The Flash*²⁷, disponível na Netflix[®]²⁸. Apresentaram um bom domínio de conteúdo,

²⁶ Disponível em:<<https://www.youtube.com/watch?v=t6R7zpJKe3g>>.

²⁷ Flash- série da Netflix, que possui várias temporadas, aborda episódios sobre um perito forense que desperta do coma com poderes especiais.

souberam selecionar bons vídeos e excelentes exemplos relacionados ao cotidiano.

Na apresentação do último grupo, o Grupo 6, toda a sala se demonstrava interessada sobre o assunto. O grupo explicou, demonstrou com imagens e vídeos a aplicação dos Raios X na indústria e nos aeroportos (segurança), como os já ilustrados na Figura 1.19.

3.5 Análise da Aula 6 – Leitura do artigo “Raios-X: Fascinação, Medo e Ciência”

Buscando contribuir na relação entre o conhecimento prévio e a aprendizagem significativa, se propôs a leitura individual do artigo intitulado “Raios-X: Fascinação, Medo e Ciência” (Lima, 2009).

O texto aborda o tema de uma maneira contextualizada com uma evolução histórica. Para realizar essa leitura, os alunos ficaram livres para encontrar um local agradável na área externa da sala de aula. Após a leitura os alunos elaboraram uma síntese no caderno, sobre o tema.

Foi possível observar, na correção realizada pela autora, que a maioria dos alunos conseguiu elencar as principais ideias presentes no artigo. Dentre as mais destacadas foram: a repercussão das pessoas sobre a descoberta dos Raios X e o seu perigo oculto. A partir dessa leitura, verificou-se que essa parte do texto chamou a atenção dos alunos, por destacar que, na época, ocorreu grande interesse da comunidade europeia, surgindo, inclusive, algumas estórias folclóricas em torno do fenômeno.

3.6 Análise da Aula 7 – Experimento com Acesso Remoto

Nessa aula, inicialmente, realizou-se um diálogo com a turma esclarecendo o acesso remoto e a sua importância. Após esse breve diálogo, iniciou-se a atividade experimental.

Conectados ao LARI – UEM, os alunos, por meio, das imagens transmitidas via acesso remoto das câmeras, em tempo real, primeiramente conheceram o equipamento de Raios X (*EXPERT 4.0 – PHYWE*) conforme registrado na Figura 3.6.

Na sequência, puderam acionar (de forma remota) alguns comandos como ligar, desligar, apagar e acender a luz do equipamento. Depois, realizaram-se as medidas com os objetos selecionados (Urucum e calculadora) que haviam sido deixados no

²⁸Netflix® -uma provedora global de filmes e séries de televisão.

laboratório (LARI-UEM) em que se encontra o aparelho de Raios X. No LARI, encontrava-se o professor Ivanildo Fabrício de Oliveira/DFI, que auxiliou nesse experimento com a troca dos objetos previamente selecionados. O comando para o professor inserir e realizar a troca de objetos era transmitido via o *Mydlink*.

Fora realizada uma abordagem geral sobre a utilização do equipamento, bem como, foram respondidas as dúvidas individuais de alguns estudantes acerca do conteúdo ministrado. Elencamos, ainda, a utilização das novas tecnologias em sala de aula.

Figura 3.6 - Imagem fotográfica da apresentação do equipamento de Raios X PHYWE - (esquerda – indicado com a seta vermelha) que foi visualizado via Acesso Remoto em tempo real intermediado pela Professora Ana Paula Bim Maldonado (autora desta dissertação) em pé a direita da foto.



Fonte: arquivos da autora.

Foi uma experiência única, pois os alunos participaram, interagiram, questionaram, e o mais surpreendente foi que alguns alunos com comportamento indisciplinado nas aulas, ofereceram-se para realizar a atividade experimental.

A atividade contou também com a presença do Professor Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes, Figura 3.7, orientador do presente trabalho de Dissertação de Mestrado que viajou de Maringá até Inajá, e acompanhou a aplicação desta parte do PE e contribuiu significativamente motivando os estudantes com sua história de vida e seus conhecimentos em relação à Física. Outro fato marcante para os estudantes fora à fala do Professor Paulo Ricardo elencando o fato de ter saído de uma escola pública e conseguir, graças ao estudo, possuir conhecimento e ser um "vencedor". Os alunos

sentiram-se importantes e valorizados com a sua presença na escola.

Figura 3.7 – Imagem fotográfica contando com a presença do Prof. Dr. Paulo Ricardo (DFI/UEM). Além de realizar um momento de motivação, o Professor acompanhou a verificação do funcionamento do equipamento via Acesso Remoto.



Fonte: Imagem autorizada pelo Prof. Paulo Ricardo e arquivos da autora.

Os alunos realizaram a experimentação via acesso remoto. Conforme apresentado na Figura 3.8. Muitos se ofereceram para realizar a experiência, foi gratificante ver essa manifestação.

Figura 3.8 - Imagem fotográfica da atuação de um aluno acionando os comandos no equipamento de Raios X, via acesso remoto e capturando a imagem de Raios X do Urucum, sendo orientados pelo Prof. Paulo Ricardo (DFI/UEM) e pela Profa. Ana Paula (docente responsável pela turma e autora do presente trabalho).

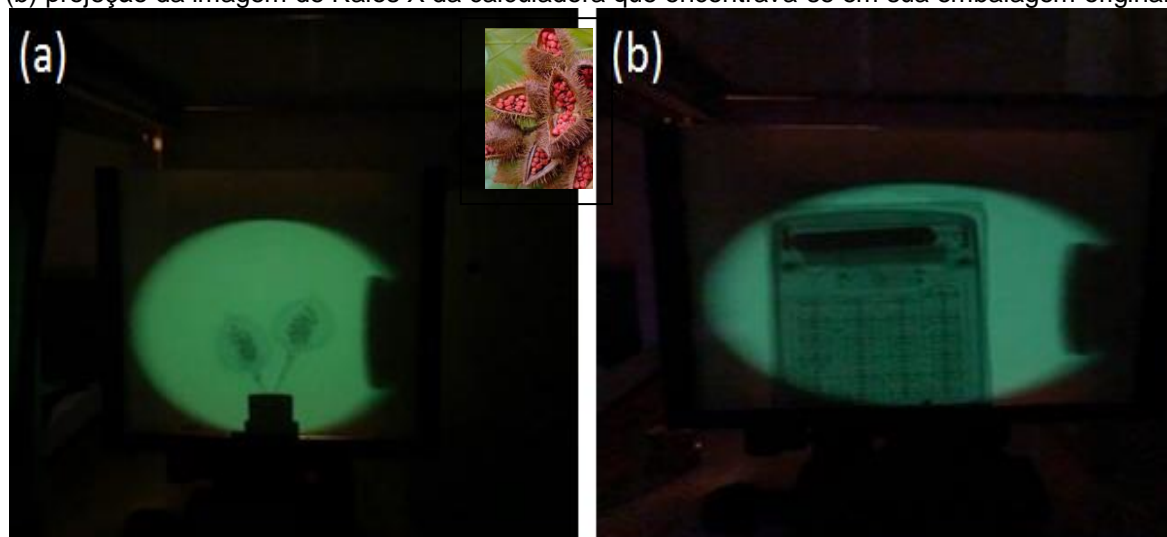


Fonte: arquivos da autora.

Os alunos visualizaram e analisaram as imagens obtidas por fotos dos Raios X dos

objetos Urucum e calculadora (Figuras 3.9 (a) e 3.9 (b), respectivamente).

Figura 3.9 - Imagem fotográfica de Raios X: (a) do Urucum (“*Bixa Orellana*” – ilustrado no canto direito da foto com o fruto aberto) obtida pelo aparelho a partir da manipulação dos estudantes com o aparelho, e (b) projeção da imagem de Raios X da calculadora que encontrava-se em sua embalagem original.



Fonte: arquivos da autora.

Após a realização da experimentação, foi realizado um debate com alguns questionamentos:

- ***Por que a embalagem da calculadora não aparece na imagem de Raios X?***
- ***Quais informações devem ser levadas em consideração ao expor um objeto a um equipamento de Raios X para analisar a imagem obtida?***
- ***Já tinham realizado alguma experimentação ou atividade com acesso remoto?***

O debate foi muito interessante, pois os alunos lembraram e levaram em consideração os conteúdos abordados na apresentação dos seminários; como tamanho do átomo, suas propriedades e características com relação à aplicação de Raios X.

3.7 Análise da Aula 8 – Avaliação Final por meio de Mapas Conceituais

Buscando demonstrar para os alunos que, desde a descoberta dos Raios X até a atualidade, o mesmo continua contribuindo para novas descobertas, foi reproduzido um vídeo sobre a Luz Síncrotron de 7min42s de duração, disponível em: <https://youtu.be/P3szpQuT7_4>.

Após, professora e alunos conversaram e realizaram um debate sobre a importância dos Raios X nos dias atuais. Foi uma aula expositiva e dialogada, com participação dos alunos. Muitos ficaram encantados com o vídeo e foi sugerido para

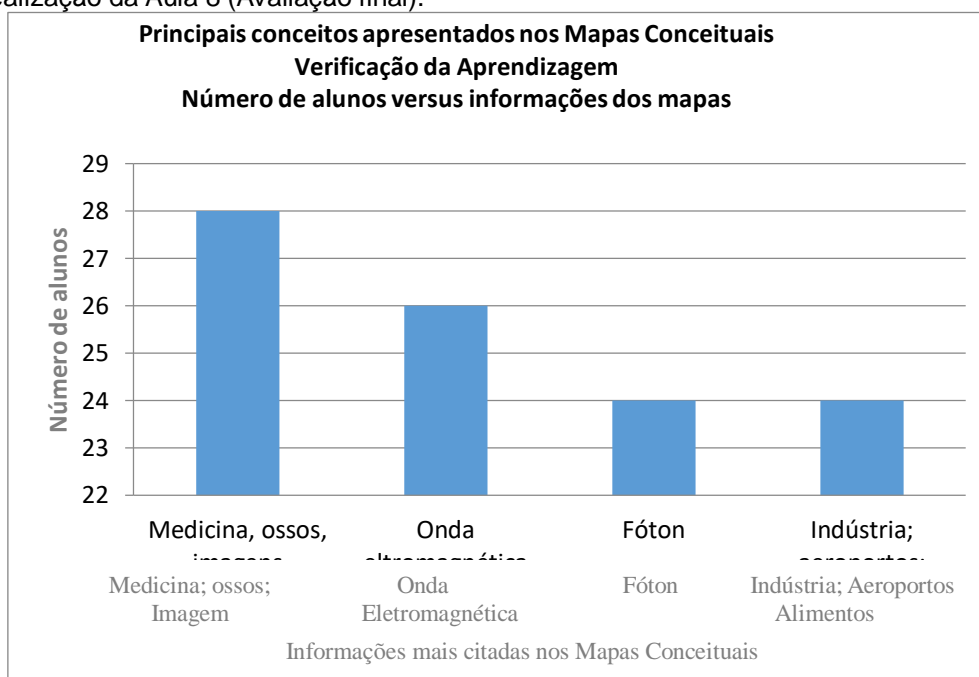
que eles visitassem o site do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), muitos demonstraram interesse em obter mais informações.

Para finalizar a SD foi entregue o mesmo modelo de folha da Aula 1 (presente para uso no Apêndice A) para elaboração de um novo mapa conceitual com o objetivo de avaliar a evolução do conhecimento, se novos conceitos foram agregados ou reformulados, se novas palavras foram relacionadas ao tema Raios X, quando comparados com o MC realizado pelos alunos na Aula 1.

Esse mapa conceitual foi nominado de avaliação final, aplicada para avaliar os alunos e também a autora desta dissertação, visando que tal avaliação pudesse servir como diagnóstico das práticas pedagógicas realizadas.

Analisando os Mapas Conceituais, foi possível observar que a ideia relacionada à radiografia (medicina) permaneceu, no entanto, algumas palavras (conceitos) que não constavam no mapa inicial foram agregadas ao mapa final²⁹. Para ficar mais visível, elaborou-se um gráfico com as principais informações obtidas no mapa da Aula 8, conforme consta na Figura 3.10.

Figura 3.10- Gráfico de barras com as principais informações apresentadas no Mapa Conceitual após a realização da Aula 8 (Avaliação final).



Fonte: a autora.

Finalizando-se assim, a aplicação do PE e do diagnóstico de sua aplicação.

²⁹Nas Figuras ANB21 ao ANB2.4 do Anexo B estão apresentadas uma amostragem dos mapas conceituais elaborados pelos alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo a elaboração e aplicação de uma proposta didática, baseando-se na SD proposta por Zabala, conforme referido na seção 1.1.2.

O conteúdo de Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X encontra-se nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física (Brasil, 2000; 2002), contemplado no item III - Ciência e Tecnologia na Atualidade e no Tema Estruturador 4 (Som, Imagem e Informação), também está contemplado nas DCNS.

Na proposta didática, parte integrante do PE, o conteúdo é abordado com o uso de diversas metodologias e uma atividade experimental com o uso de equipamento de Raios X, baseado na Teoria de Aprendizagem atribuída a Ausubel, a Aprendizagem Significativa (seção 1.1.1), fundamentada nos subsunçores, isto é, nos conhecimentos prévios dos estudantes. Neste caso, os subsunçores foram Raios X e suas aplicações.

Ao elaborar a SD, pensamos na relação Ciência, Tecnologia e Sociedade e o uso de metodologias diferenciadas, a fim de proporcionar ao aluno maior motivação e participação contribuindo assim, para efetivação de uma aprendizagem significativa.

Para aplicação da SD o apoio da direção e equipe pedagógica foi fundamental, visto que no Colégio Barão do Rio Branco não há técnicos nos laboratórios, é o professor quem organiza o que necessitar utilizar. No entanto, a equipe pedagógica auxiliou na organização do laboratório e também compreenderam a movimentação da turma ao saírem da sala de aula para ler o artigo e ao usarem as repartições da escola em contra turno para preparação dos seminários.

No decorrer das atividades relacionadas ao conteúdo foi possível notar a preocupação na realização das atividades nos prazos estipulados, também foi nítida a evolução que os alunos apresentaram nos seminários, tanto com relação aos conteúdos pesquisados como também na apresentação.

O conceito de Ondas Eletromagnéticas, espectro eletromagnético foi bem discutido, assim como parte do conteúdo de Física Moderna e seu uso tecnológico.

Alunos que até aquele momento nunca se propuseram apresentar trabalhos expositivos, inclusive a aluna com deficiência auditiva devido a imaginar ser limitada, surpreendeu com as ações tomadas, pois se interessaram pelo tema, participaram na busca por materiais e vídeos e na apresentação desse conteúdo.

Para contribuir com a aprendizagem, as leituras individuais e coletivas, o vídeo e

os debates foram fundamentais, pois foi possível dialogar com os alunos os conceitos que surgiam.

Ao elencar as principais informações contidas nos mapas conceituais iniciais, para inferir o conhecimento prévio e comparar com o mapa conceitual elaborado no fim da SD, foi possível verificar a diferença de informações e relações apresentadas nos mapas. Inicialmente conseguiam relacionar os Raios X com questões bem superficiais, sem relacionar com a Física, processos de obtenção e aplicações. Já no mapa conceitual final foi possível verificar expressivamente essas relações.

Sabemos que segundo Ausubel (1980), nem sempre a aprendizagem ocorre no momento em que avaliamos, para alguns pode levar um maior tempo ou até mesmo nem ocorrer, pois depende de fatores cognitivos, afetivos e sociais.

[...] é essencial levar - se em consideração as complexidades provenientes da situação de classe de aula, estes por sua vez, incluem a presença de muitos alunos de motivação, prontidão e aptidões desiguais; as dificuldades de comunicação entre professor e aluno; as características particulares de cada disciplina que está sendo ensinada; e as características das idades dos alunos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 5).

Um fato que merece destaque e ocorreu no início do ano letivo de 2019, foi que os alunos do terceiro ano do ensino médio questionaram se eles também realizariam a atividade sobre Raios X, na qual os alunos do ano anterior haviam realizado. Diante desse questionamento, a resposta foi afirmativa. No entanto, o decorrer do letivo de 2019 foi bem turbulento, ocorreram muitas mudanças na educação devido a troca de governo, diversas avaliações externas foram realizadas, por sinal nas aulas de Física, atrapalhando assim a abordagem dos conteúdos propostos. Mesmo assim, a SD foi aplicada nessa turma de 2019 sem a experimentação (Aula 7 da SD). Foi possível observar que o entusiasmo, a participação nas atividades e a aprendizagem ocorreram, porém não tão significativamente como ocorreu na turma do ano anterior (2018).

Como impressões pessoais da autora deste trabalho, a elaboração e aplicação da SD foi muito significativa, pois fez-se uso de metodologias e tecnologias na qual inicialmente não se tinha conhecimento, tanto para o processo de ensino (enquanto docente) e aprendizagem (enquanto aluno). E com muita determinação e pesquisa foi possível obter sucesso. Com relação aos alunos, um dos principais destaques, na qual obteve-se um grande êxito foi a inclusão. A educação inclusiva pressupõe escola aberta para todos. Um ambiente em que todos aprendem juntos, independente de

quaisquer que sejam as dificuldades, o que foi possível verificar na aplicação desta SD. A aluna com deficiência auditiva participou das mesmas atividades que os demais, isto é, dentro do contexto escolar uma educação inclusiva deve proporcionar para todos os alunos a participação da mesma atividade tendo ou não necessidades especiais. Ainda em relação ao comportamento positivo dessa aluna e de outros é que para ocorrer o processo de aprendizagem o indivíduo tem de querer.

Portanto, o desenvolvimento e aplicação do PE contribuíram significativamente para o processo ensino (enquanto docente) e para a aprendizagem, pois grande parte da turma apresentou interesse, disposição para a realização das atividades. E, os conceitos abordados passaram a ter significados, o que não ocorria quando se abordava o conteúdo com aulas expositivas e fazendo uso somente o livro didático. O aluno foi o protagonista no processo ensino e aprendizagem. Foi notória a mudança de seus comportamentos quanto à participação em sala de aula, principalmente nas atividades propostas nas aulas de Física.

Para a autora, o MNPEF foi um marco importantíssimo quanto ao crescimento profissional e pessoal uma vez que, há três anos, não havia suficiente confiança e clareza sobre a possível realização de um trabalho de Mestrado. Hoje, há a certeza de que mesmo com dificuldades é possível alcançar os objetivos, desde que haja dedicação e vontade para atingi-los. Também proporcionou à autora uma autoreflexão sobre suas práticas pedagógicas; de como é possível utilizar metodologias diferenciadas; e a certeza de que há formas variadas de abordar os conceitos Físicos, de modo a motivar os alunos.

Referências

ALS-NIELSEN J. e McMORROW D., *Elements of Modern X-ray Physics*, Second Edition, Wiley Press, 2011.

AUSUBEL, D. in Wikipedia. "Biografia", 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/David_Ausubel>. Acesso em 23/08/2018.

BASSALO, J. M. F. Nascimentos da Física: Idade Renascentista (4-95-2). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 17, n. 4, p. 284 – 295, dezembro, 1995. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol17a36.pdf>>. Acesso em 24/04/2020.

BRASIL, *Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Física*. Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, 2000.

BRASIL, *Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, 2002.

BURKARTER, E. et al. Livro Didático Público – FÍSICA – 2ª. Edição. SEED-PR, Curitiba: 2007. Cap. 12 pág. 195.

CAMPOS, A. M. N.. *A prática de ensino dos docentes do Curso de Turismo do CEFET/PA – uma análise centrada na metodologia do ensino*. Maringá: Revista Urutágua. Nº 6, abr/mai/jun/jul, 2006. Disponível em <<http://www.urutagua.uem.br/009/09campos.htm> >. Acesso em 23/08/2018.

CARVALHO, R., 2016. Disponível em: <<https://www.edools.com/mobile-learning/>>. Acesso: 07/09/2019.

CEBRB. Barão do Rio Branco. *Proposta Pedagógica Curricular para a disciplina de Física – Ensino Médio Organizada por Trimestre*. CE Barão do Rio Branco – EFM e EJA.

CHIBENI, S. S., *As origens da ciência moderna*, 2018. Disponível em: <www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>. Acesso em 10/10/2018.

COUTO, F. P. *Atividades experimentais em aulas de Física: repercussões na motivação dos estudantes, na dialogia e nos processos de modelagem*. 2009. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/FAEC83WRY2>>. Acesso em 02/09/2019.

DAM, H. J. W.. "The New Marvel in Photography." *The McClure's Magazine* VI nº 5: 403-15, 1896 <<http://www.gutenberg.org/files/14663/14663-h/14663-h.htm>>. Acesso em 20/07/2019.

Diretrizes Curriculares da Educação Básica de Física Diretrizes Curriculares da

Educação Básica/DCEs – Física. Curitiba: SEED/DEB, 2008.

DEMO, P. In. *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo: Atlas, p.15-43, 2004.

de OLIVEIRA, M. A. F., *Utilizando um fenômeno físico para medir o diâmetro de um fio de cabelo*, 60, 38 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dissertacao/mnpef/uem.php>> . Acesso em 07/09/2019.

DMITRUK, P. P. Física Radiológica: Fatores que Influenciam na Produção dos Raios X 2016 p.1 disponível em :<<https://pt.linkedin.com/pulse/fisica-radiologica-fatores-que-influenciam-na-dos-x-phillip>>. Acesso em 07/03/ 2020.

FAP-214_2006, Difração, 2006. Disponível em <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2618098>>. Acesso em 28/02/2020.

GLASSER, O. *William Conrad Roentgen and the Early Story of the Roentgen Rays*, Charles C. Thomas: Springfield. 1934, 1993. Disponível no site: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=5GJs4tyb7wEC&oi=fnd&pg=PA1&ots=97tZRCssfj&sig=m2szSQUj2hNdaHu2fclECWosPpQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>>.

GOULART, Cláudia. As práticas orais na escola: o seminário como objeto de ensino. Campinas, 2005. 228p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Estudos da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentos de Física – Vol. 4, Ótica e Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC. 8. ed. 2009;

HUBBELL, J. H. e SELTZER, S. M. (2004). *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z = 1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest*. Disponível em <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients> acesso em 20/05/2020.

JAVAN, *Produção de Raio X*, 2013. Disponível no site: <<https://tecnicoderadiologia.blogspot.com/2013/04/resumo-producao-de-raio-x.html>>, acesso em 20/05/2018.

LNLS, Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. Disponível em <<https://www.lnls.cnpem.br/>> acesso em 20/05/2018.

LIMA, R. S.. AFONSO, J. C., *Raios-x: fascinação, medo e ciência*. Revista Química. Nova, 32, 1, 263-270, 2009.

LUCIANO, A; LUCIANO, A. P. G.; FERNANDES, P. R. G.; TAKAI, H.; FUSINATO, P. A. Remote Access experiment as a facilitator for teaching modern and contemporary physics in secondary schools. Journal of Physics: Conference Series 1286, 2019.012035; DOI:10.1088/1742-6596/1286/1/012035.

MACHADO, K. D., *Teoria do Eletromagnetismo* vol. 3. 281 páginas, Editora: UEPG,

2006.

MARONE, F. Radiography and Tomography, Swiss Light Source, Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, Switzerland, 2017. Disponível em: <http://www.esrf.eu/files/live/sites/www/files/events/conferences/HSC/HSC19/Marone_HSC19_Part1.pdf>. Acesso em: 21/10/2010.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. S., *Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Centauro Editora. 2ª ed., 2006.

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. 162 páginas. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. *Mapas conceituais e aprendizagem significativa*. Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS, 1999. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>>. Acesso em: 10/10/2018.

MOREIRA, M. A. *O Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas*. Revista Brasileira de ensino de física. São Paulo. Vol. 22, nº 1. Mar., p 94-99, 2000.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Porto Alegre: Instituto de Física – UFRGS. 2012. Disponível em <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>> Acesso em 10/10/2018.

MOREIRA, M. A. *Uma análise crítica do ensino de Física*. Revista Estudos Avançados. vol.32p.01 nº 94, São Paulo, 2018. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142018000300073&lng=pt&tlnq=pt> Acesso em 08/12/2019.

NITSKE, W. R.. *The Life of Wilhelm Conrad Röntgen: Discoverer of X Ray*. Arizona: Tucson: The University of Arizona Press,.154.1971.

NITSCHKE, F. E. A., Lei de Hooke e conservação de energia: uma proposta experimental aplicada ao primeiro ano do Ensino Médio. 167 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2019.

NOVAK, J.D. e GOWIN, B. D., *Aprender a Aprender*. Lisboa: Plátano.57 páginas. 1984. Disponível em: <<http://eaulas.usp.br/portal/video.action;jsessionid=EB871FDC787E572F820A22904700768C?idItem=5337>>. Acesso em: 20/07/2019.

NOVAK, J. D.; CAÑÁS, A. J. *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them*. IHMCCmapTools. 1–36, 2008;

NOVAK, J. D.; Cañás, A. J.; (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?), *Mapas Conceituais no Processo de Ensino-Aprendizagem: aspectos práticos*. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/pedagogia/mapas-conceituais-no-processo-de-ensino-aprendizagem-aspectos-praticos/>>

NUSSENZEIG, H. M. *Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica*. São Paulo: Edgard Blücher. Vol.4, 2002;

OGIBOSKI, L., *Laboratório remoto baseado em software livre para realização de experimentos didáticos*. São Paulo: Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, I. F. de. Raios X no Ensino Médio via Acesso Remoto na Perspectiva da Aprendizagem Significativa. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.

O Espectro Eletromagnético, regiões do espectro. Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>> acesso em 10/05/2019.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M.. *Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente Radiológico de Goiânia*. São Paulo: Estud. av. vol.27 nº.77, 2013.

PELLIZZARI, A, KRIEGL M.L., BARON, M. P., FINCK, N. T. L., DOROCINSKI, S. I. *Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel*. Revista PEC. p. 37-42. 2002.

PERRENOUD, P. *10 Novas Competências para Ensinar*. Porto Alegre: Editora Artmed, 192 p. 2000.

PORTAL DA EDUCAÇÃO, *Interação de raios X com a matéria*, disponível no site: <https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/interacao-de-raios-x-com-a-materia/35827> . Acesso em 20/05/2018.

PROJETO SIRIUS (pdf). A nova fonte de luz síncrotron brasileira. LNL_Sincrotron, «Cap. 3». In: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação Campinas: [s.n.] p. 28, 2014. Disponível no site: <<http://www.lnl.cnpem.br/wp-content/uploads/2016/08/Livro-do-Projeto-Sirius-2014.pdf>>. Acesso em 05/03/2020.

REITZ, J. R., MILFORD, F. J.,CHRISTY, R. W., Fundamentos da Teoria Eletromagnética, Editora Campus, 516 páginas, 1982.

RÖNTGEN, W. C.. *Annalen der Physik und Chemie*.64, 1. 1895.

RÖNTGEN, W. C.; *Rev. Gen. Sci.*, 7, 59, 1896.

SANTOS, C. A., *Conceitos Elementares de Raios X*. Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). p.1, 2002. disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosx/rxconc.html>>. Acesso em 10/10/2019.

SILVA, S. de C. R. da; SCHIRLO, A. C..*Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social*. Imagens da Educação, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014.

SILVEIRA, M. F. da, *Roteiro de Absorção de Raios X*, 200?. disponível em: <<https://www.if.ufrj.br/~maximo/Lab-1.html>> . Acesso em 20/05/2020;

TIPLER, P. A. (1999). *Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 3 - Física Moderna: Mecânica Quântica, Relatividade e a Estrutura da Matéria*. 4ª. Ed. New York, LTC, 1999.

VIANA, M. H. *Águas de Lindóia e a Celebração da Química*, 2015. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/38ra/noticia/aguas-de-lindoia-e-celebracao-da-quimica>>. Acesso em 10/02/2020.

ZABALA, A. *Prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre, RS: Artmed.57, 1998.

ZILIO, S C. *Difração*, 2007, disponível em:<<http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/difracao/huygens/>>. Acesso em 10/02/2020.

ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL

Maringá, 10 de Setembro de 2018.

À Diretora Dulcineia de Cassia Ferrari
Diretora do Colegió Estadua Barão do Rio Branco – EFM e EJA
Rua São Tomé 395 – Centro, Inajá Paraná, 87670-000

Prezada Diretora,

Venho por meio desta, apresentar a Pós-Graduanda ANA PAULA BIM MALDONADO (RA 400596), acadêmica regularmente matriculada no Programa de Pós Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), desde 01/08/2017. Esta desenvolve, sob a minha orientação, o trabalho intitulado: “ONDAS ELETROMAGNÉTICAS COM ÊNFASE EM RAIOS X: UMA PROPOSTA DIDÁTICA COM O USO DE TECNOLOGIAS EDUCACIONAIS”.

Esclarecendo que os acadêmicos do MNPEF são professores da rede de ensino que ministram a componente curricular Física ou Ciências, e que o trabalho de mestrado destes deve, obrigatoriamente, gerar um Produto Educacional (PE), além de uma Dissertação.

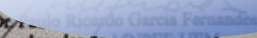
Nesse sentido, solicitamos a sua autorização para que a pós-graduanda ANA PAULA BIM MALDONADO possa realizar a sua pesquisa e aplicar o seu Produto Educacional na turma de terceiro ano do Ensino Médio, período matutino, respeitando o caráter ético no que diz respeito à veiculação das imagem dos alunos.

Por fim, nos colocamos à disposição para quaisquer esclarecimentos sobre o desenvolvimento do projeto de pesquisa que está sendo realizado.

Agradecemos vossa compreensão e colaboração.


Atenciosamente,

Universidade Estadual de Maringá
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Prof. Dr. 
Coordenador do MNPEF-UEM

Coordenador do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional e Profissional em Ensino de Física (Polo UEM) e Orientador do Trabalho

AUTORIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO:

Concordo com o solicitado: 

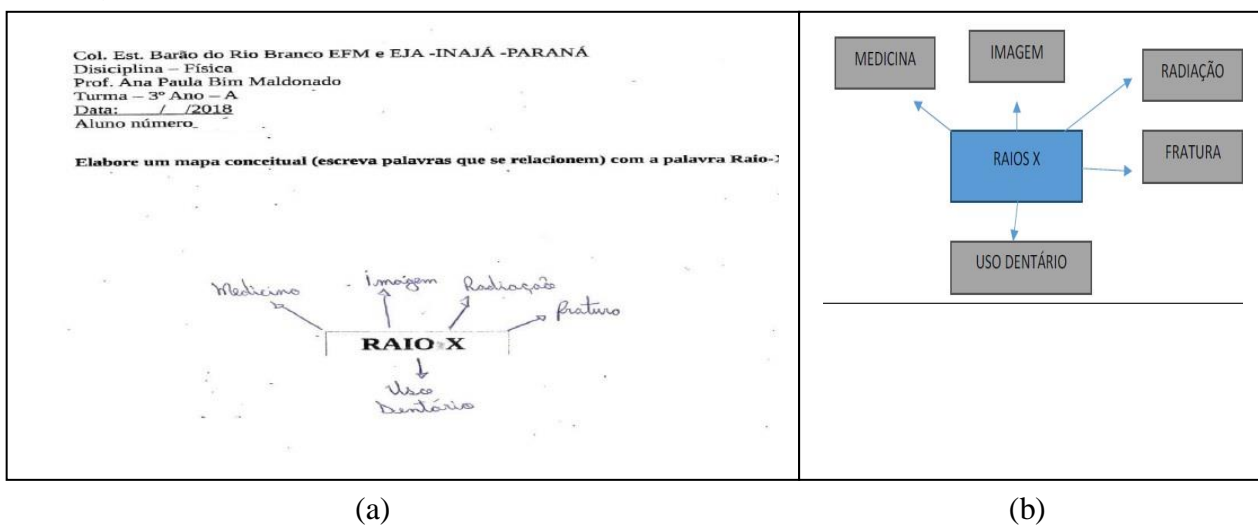
Diretora Dulcineia de Cassia Ferrari

ANEXO B – MAPAS CONCEITUAIS ELABORADOS PELOS ESTUDANTES – Aulas: 1 e 8

Neste anexo apresentam-se uma amostragem dos mapas conceituais apresentados pelos alunos, antes e após a aplicação do PE.

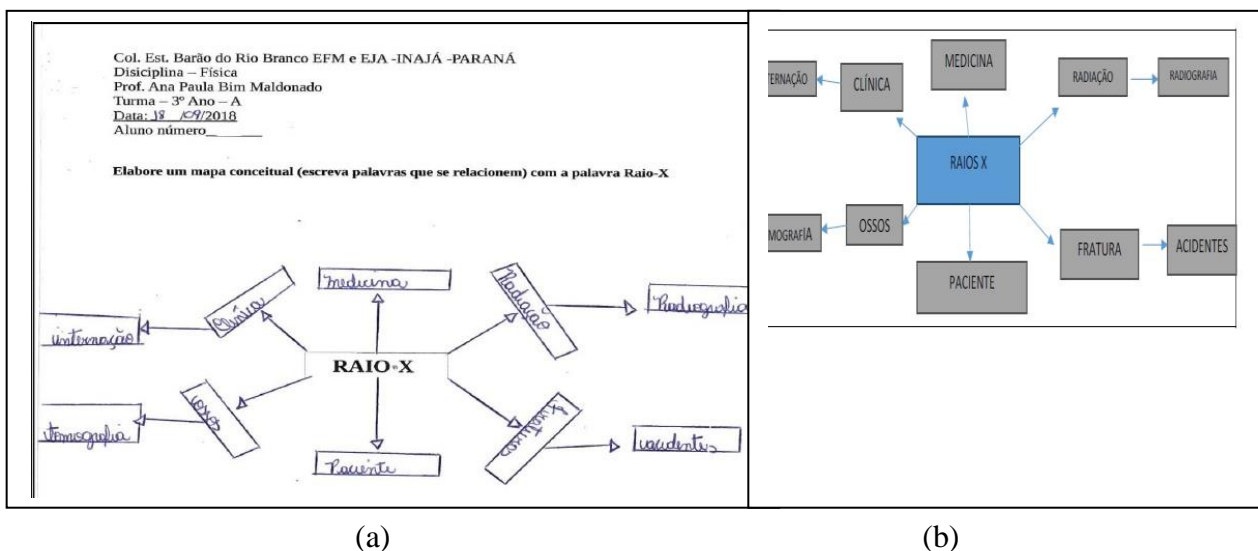
B.1 – Amostragem de mapas conceituais confeccionados pelos alunos antes da aplicação do PE

Figura ANB1.1—Imagem fotográfica do MC antes da aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.



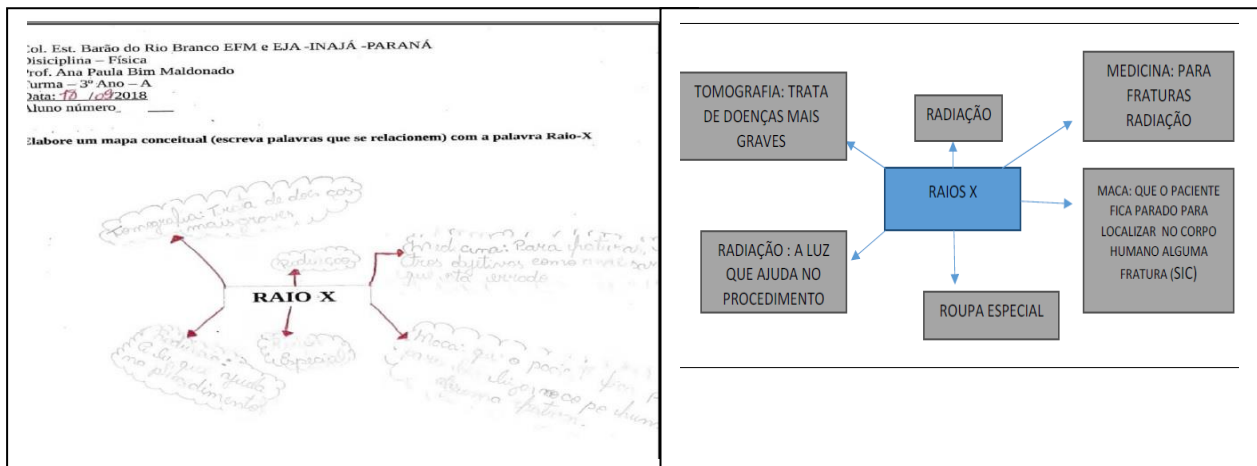
Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

Figura ANB1.2 – Imagem fotográfica do MC antes da aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.



Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

Figura ANB1.3 - Imagem fotográfica do MC antes da aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.

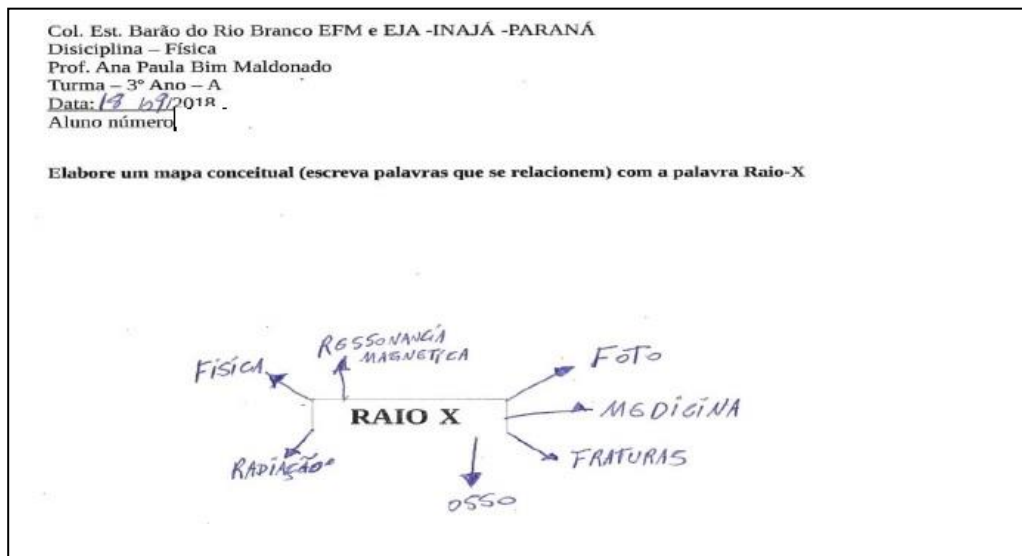


(a)

(b)

Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

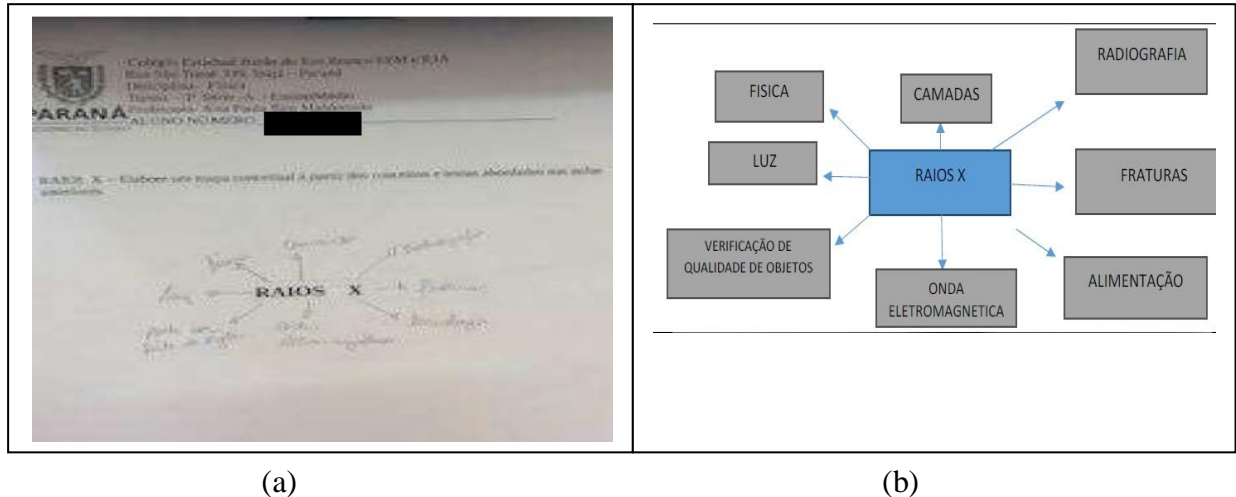
Figura ANB1.4 – Imagem fotográfica do MC antes da aplicação do PE de um aluno.



Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

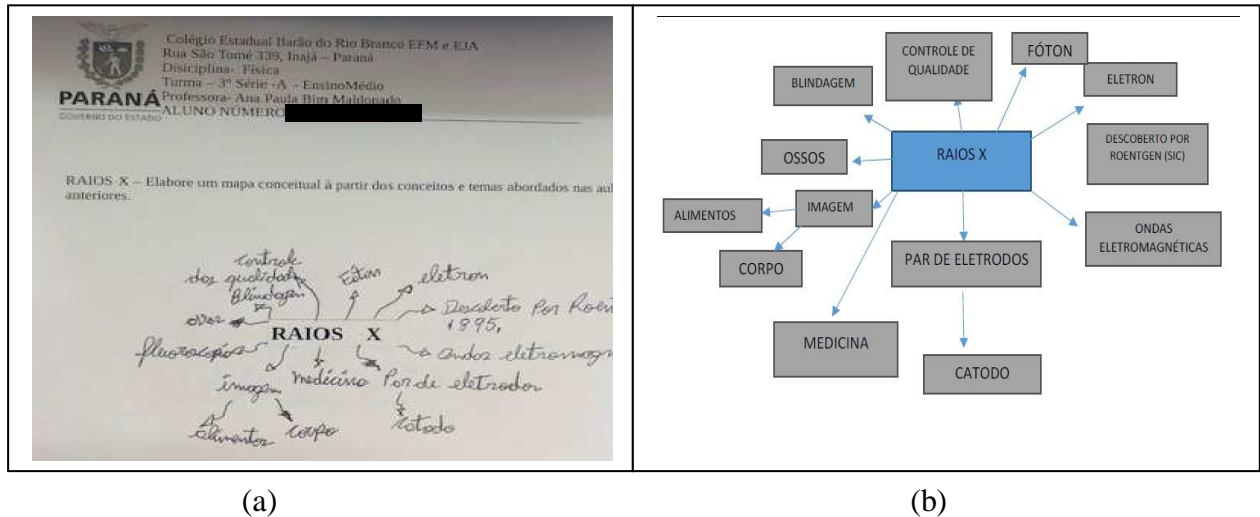
B.2 – Amostragem de mapas conceituais confeccionados pelos alunos após a aplicação do PE

Figura ANB2.1 – Imagem fotográfica do MC após a aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.



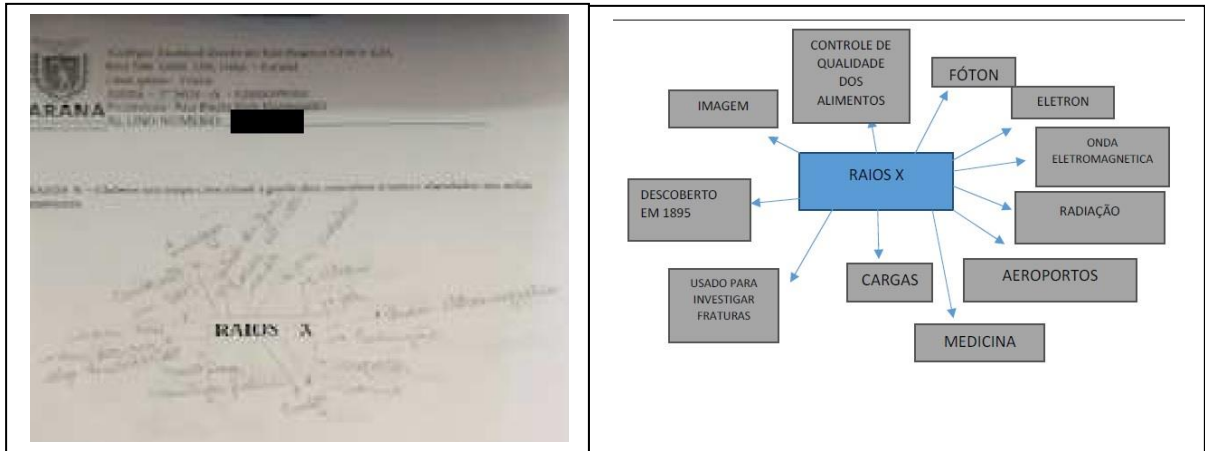
Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

Figura ANB2.2 – Imagem fotográfica do MC após a aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.



Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

Figura ANB2.3 – Imagem fotográfica do MC após a aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.

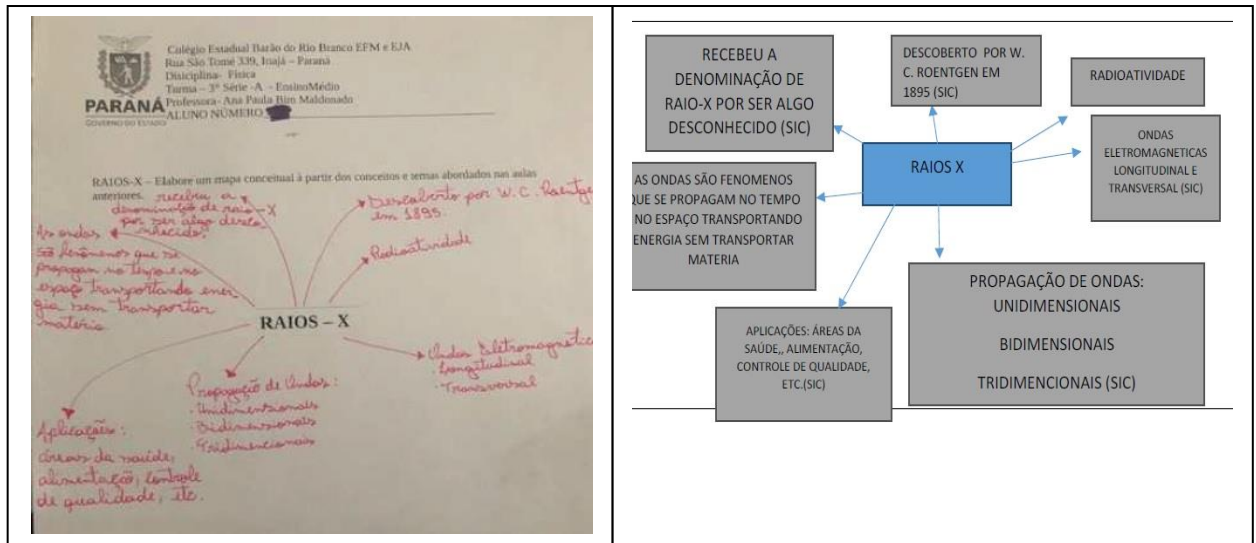


(a)

(b)

Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

Figura ANB2.4 – Imagem fotográfica do MC após a aplicação do PE (a) de um aluno e em (b) a transcrição do mesmo.



(a)

(b)

Fonte: MC aplicado aos alunos 3º Ano 2018 e arquivos da autora.

APÊNDICE A – MODELO DE FICHA PARA OS MAPAS CONCEITUAIS – Aulas: 1 e 8

Instituição: _____

Município/Estado: _____

Disciplina- Física: _____

Docente: _____

Turma: _____

Data: _____

Aluno nº _____

Elabore um mapa conceitual a partir da palavra **Raios X**.

RAIOS X

APÊNDICE B – ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Roteiro para uso do Equipamento de Raios X via acesso remoto

Materiais, equipamentos e programas necessários:

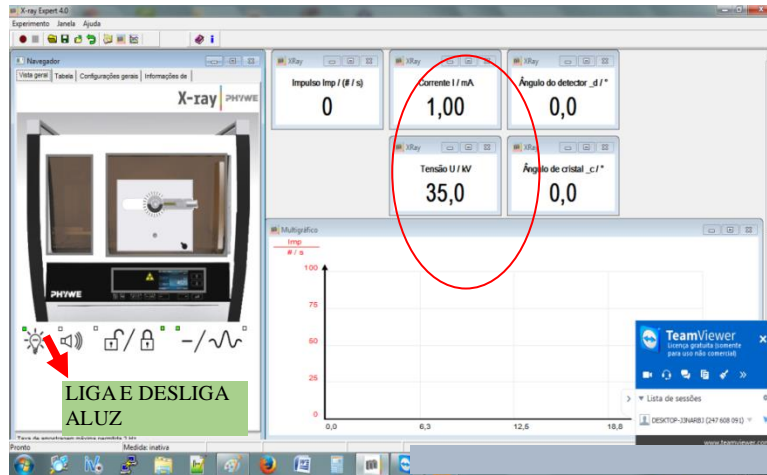
- Computadores, Celulares e Retroprojetores (*Mobile learning*);
- Laboratório LARI – UEM agendamento do equipamento X-RAY – Modelo: EXPERT 4.0, Marca - PHYWE;
- Rede *WiFi*;
- Objetos diversos. Exemplos: calculadora na embalagem original ou no interior de uma caixa, fruto do Urucum, ou outros que tiverem interesse. Escolher materiais cujo invólucro seja fino (espessuras além de 2 mm);
- Programa *software Team Viewer 11* instalado no computador da escola.
- Programa *software Mydlink* instalado no computador da escola para ter acesso às imagens do LARI.

Procedimento:

- Primeiramente fazer o *download* dos *softwares* Team Viewer e Mydlink no computador a ser utilizado na escola.
- Entrar em contato com o laboratório no qual se encontra o equipamento de Raios X - EXPERT 4.0 (PHYWE), o contato pode ser via site: www.dfi.life.uem.pr (ou via programa: *Team Viewer 11*) ou fone 44-30114295 Bloco G68 sala 14 DFI/UEM, ou se direcionar à secretaria do DFI/UEM (3011 43 30).
- Agendar um horário disponível com o professor responsável para testar o aparelho de Raios X via acesso remoto.
- As câmeras serão acessadas via *mydlink* à partir do usuário e senha fornecido pelo responsável do LARI.
- Acessando o *Team Viewer 11* como sendo o acesso remoto. Em seguida o *Measure* (que está instalado no computador que será acessado de forma remota, este vem junto com o equipamento em um cd) para controlar o equipamento de Raios X - EXPERT 4.0 (PHYWE). Inicie o programa "Measure" com o equipamento de Raios X ligado. Verifique a partir das imagens (câmeras) se a luz do aparelho está acesa.
- Com o *Team Viewer 11* testar as funções do equipamento Raios X, como ligar e

desligar a luz por meio do programa *Measure*, exemplo na Figura APB.1. A tensão (35,0 kV) e a corrente (1,00 mA) não serão alteradas, permanecerão fixos.

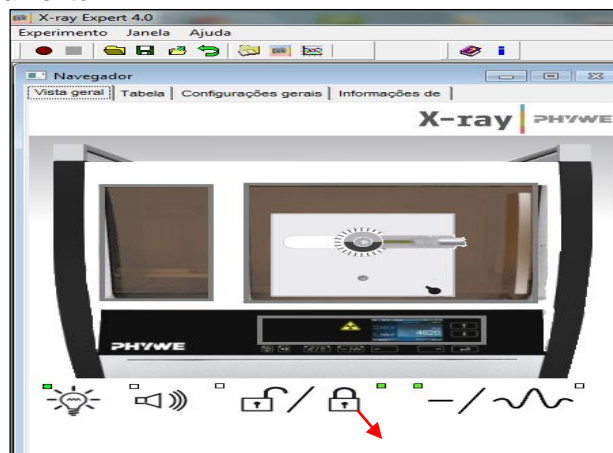
Figura APB.1- Imagem (*printscreen*) da tela de comando do programa *Measure*-controle do equipamento.



Fonte: arquivos da autora.

- Verificado o funcionamento do equipamento, dar o comando, por meio de um aviso/sinal enviado por meio da *webcam*, *WhatsApp web* ou ligação de vídeo, ao responsável, que estará no local presencial onde está o aparelho, para que o mesmo coloque a amostra dentro do equipamento. Após a amostra ser posicionada dentro do equipamento e a “porta” fechada pelo responsável, e visualizar por meio da câmera, então clicar de forma remota no desenho do cadeado fechado, indicado na Figura APB2 para travar a porta do equipamento, pois o mesmo não funciona se a porta não estiver travada, por motivos de segurança.

.Figura APB.2 – Imagem (*printscreen*) da tela via acesso remoto para indicar a tecla para travar o equipamento.



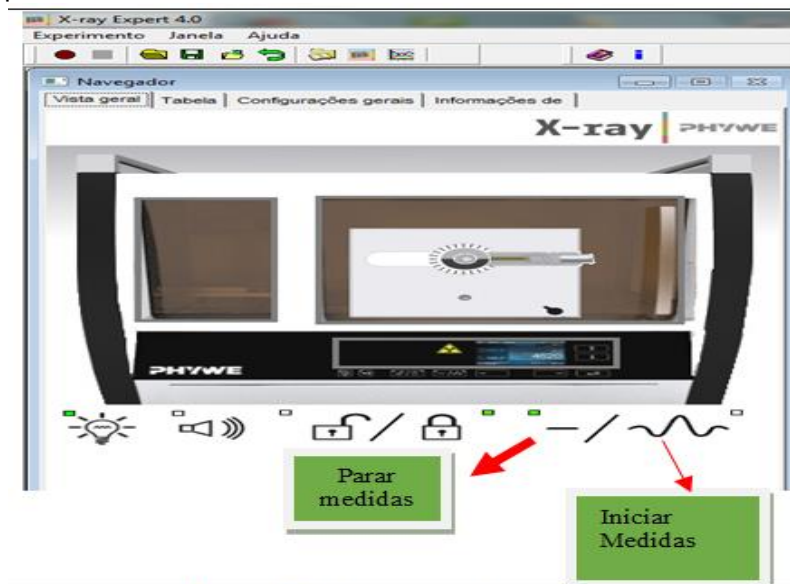
Fonte: arquivos da autora.

Travar

- Em seguida iniciar as medidas clicando no desenho de onda conforme Figura 3.

Para visualizar a imagem obtida por meio da incidência de Raios X é necessário apagar a luz do laboratório. Ao pressionar a tecla INICIAR MEDIDAS (Figura APB.3) é obtido as imagens de Raios X dos objetos selecionados, essa é observada por meio das câmeras via *mydlink*. Após, clicar em parar medidas.

Figura APB.3- Imagem (*printscreen*) da tela via acesso remoto para indicar a tecla para iniciar e parar as medidas de Raios X via *Measure*.



.**Fonte:** arquivos da autora.

Para posterior discussão é recomendado fotografar as imagens de Raios X obtidas, conforme exemplo na Figura APB.4.

Figura APB.4- Imagem fotográfica de Raios X de uma calculadora dentro da embalagem original



Fonte: arquivos da autora.

Após finalizar os registros de imagens, avisar ao responsável no laboratório que a atividade está encerrada, para que ele organize o local, desligando todo o equipamento, retirando e guardando as amostras. Bem, como possa ser liberado, pois todos são voluntários.

APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL

O Apêndice C apresenta o PE (Produto Educacional), de forma independente desta dissertação de mestrado. Isso se deve ao fato de facilitar o seu uso, bem como, atender as normas do Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF) da Sociedade Brasileira de Física (SBF).



SURFANDO NAS ONDAS DA REDE PARA DESCOBRIR OS PODERES DOS RAIOS X

Ana Paula Bim Maldonado

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Garcia Fernandes

Maringá - PR
Abril de 2020

Caro Professor,

O Produto Educacional (PE) elaborado nesse trabalho é uma Sequência Didática (SD) baseada em Zabala (1998). Buscando proporcionar uma maior aproximação do aluno do Ensino Médio com o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea e fazendo uso de tecnologias educacionais no espaço escolar por meio do Acesso Remoto, desenvolveu-se essa Sequência Didática/PE intitulado “Surfando nas ondas da rede para descobrir os poderes dos Raios X”.

Para tal, inicia-se a apresentação com um histórico de como se originou essa idéia, em que se aborda o conteúdo de ondas eletromagnéticas, especificamente as ondas de Raios X. Ao surfar pelo conteúdo proposto na SD relacionam-se o cotidiano, o conteúdo científico e a experimentação apresentando diversas possibilidades didático-metodológicas. O objetivo principal ao planejar e aplicar essa SD, é o de proporcionar uma aprendizagem significativa, ou seja, que os novos conhecimentos relacionam-se com o conhecimento prévio que o aluno possui, e que esses tenham significado. Acreditando-se também que os alunos possam sentir-se mais motivados e consigam relacionar e valorizar a importância da Física como Ciência.

A aplicação desta SD é sugerida para o terceiro ano do Ensino Médio, na componente curricular de Física, com o uso de 8 aulas de 50 minutos para aplicação integral.

Continuando a surfar nesta SD, nela estão contidas sugestões e aplicações de diversas metodologias e práticas pedagógicas, inclusive a experimentação. Para realização da experimentação há uma parceria com o Laboratório de Acesso Remoto (LARI) que possui um equipamento de Raios X (EXPERT 4.0 (PHYWE)), na Universidade Estadual de Maringá. Utiliza-se esse aparelho para capturar imagens, como por exemplo: de uma calculadora no interior da sua embalagem e da fruta Urucum (*Bixaorellana*), o ideal é escolher algo do cotidiano dos alunos, tal que sejam previamente selecionados na fase do planejamento. Tal captura é feita via acesso remoto em tempo real, por alunos e professores situados na própria escola.

Por fim, conhecido os poderes dos Raios X e chegando à “praia” das ondas da rede, finaliza-se este PE, com as avaliações. Como instrumentos avaliativos utilizam-se mapas conceituais e seminários. O mapa conceitual é usado inicialmente para avaliar o conhecimento prévio do aluno, o seminário é usado durante a aplicação do conteúdo e para finalizar utiliza-se outro mapa conceitual para comparar com o inicial

e analisar a evolução da aprendizagem, verificando assim se o objetivo foi atingido.

Espera-se que essa SD possa contribuir com o Ensino de Física, sendo útil aos professores de Física ou outros que se sintam interessados em conhecê-la e aplicá-la de acordo com sua realidade e possibilidades, podendo também ser adaptada, desde que contribua significativamente no processo ensino aprendizagem.

Este material estará disponível para download na página do MNPEF/DFI/UEM (<http://www.dfi.uem.br/dfimestrado/?q=node/60>).

A autora

Sumário

CARTA AO PROFESSOR.....	98
INTRODUÇÃO	101
1 Apresentação do Produto Educacional	107
1.1 Práticas Pedagógicas e Materiais Utilizados	108
1.2 Elaboração e Estrutura da Sequência Didática	109
1.3 Ficha Técnica – Sequência Didática	110
1.4 Estrutura das Aulas	112
2 Avaliações.....	118
2.1 Mapa Conceitual (referente as aulas 1 e 8).....	118
2.2 Seminários (referente as aulas 4 e 5).....	120
3 Resultados Esperados	121
Considerações Finais	122
Referências Bibliográficas	123
APÊNDICE A – Ficha para as Aulas: 1 e 8 (Mapa Conceitual)	125
APÊNDICE B – TEXTO DE APOIO - Física dos Raios X.....	126

Introdução

Mesmo antes de cursar o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), a autora sempre sentiu necessidade de promover a seus alunos experiências e situações que corroborassem com o Ensino de Física. No entanto, sempre encontrou diversas barreiras: escola pequena, pouca infraestrutura, falta de recursos tecnológicos, baixo interesse por parte dos alunos em dar continuidade aos estudos, falta de interação entre escolas e universidades e outros. Ao ingressar no MNPEF, algumas dessas barreiras foram rompidas e a vontade de realizar algo inédito na escola era enorme. Ao tomar conhecimento, por meio de seu então orientador, do aparelho de Raios X na Universidade Estadual de Maringá (UEM), com a proposta de desenvolver um trabalho envolvendo o mesmo. E, a autora sentiu necessidade de levar esse conhecimento também aos alunos da escola na qual lecionava. Para isso, começaram as pesquisas e leituras de como isso seria possível.

Tendo conhecimento de que o estudo de Raios X é abordado dentro do conteúdo de Ondas Eletromagnéticas para alunos do terceiro ano do ensino médio, porém de maneira superficial, e de que nos materiais disponíveis, raramente apresentavam um estudo mais detalhado sobre Raios X e sequer havia sugestões de atividades experimentais, a autora ficou determinada a planejar um conjunto de atividades para confirmar a importância dos Raios X desde sua descoberta até os dias atuais para a Física.

A primeira etapa consistiu em conhecer e aprender a manusear o aparelho de Raios X da UEM que já estava em uso no âmbito MNPEF, o mesmo foi usado por Oliveira (2016) para desenvolver seu produto educacional também via acesso remoto. No entanto, com enfoque bem diferente do apresentado pela autora, que afirma, após ter conhecimento, de que o aparelho ainda não havia sido utilizado para captura de imagens de objetos. Inicialmente, foram realizados vários testes obtendo as imagens de Raios X utilizando frutas, tais como: uva, pera, ameixa, pêssigo e o Urucum (pertence a espécie *Bixaorellana*) Figura 0.1; amendoim que é uma leguminosas (*Arachishypogaea*).

Figura 0.1 – Fotografia do aparelho de Raios X do tipo EXPERT 4.0 (PHYWE) contendo um objeto para análise. Neste caso o objeto é o fruto de *Bixaorellana*, conhecida comumente como Urucum ou colorau. No lado esquerdo a ampola de tungstênio (W) ligada, e indicada na parte inferior.

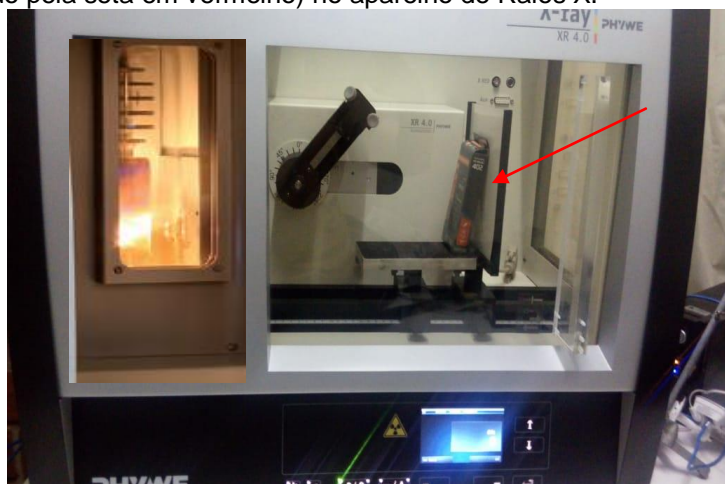


Fonte: arquivos da autora.

O Urucum (*Bixaorellana*) foi apresentado como sugestão, por fazer parte do cotidiano dos alunos na qual a autora atua como docente, região noroeste do Paraná, em que muitos trabalham na colheita ou em cooperativas deste fruto (Inajá fica a 21 Km de Paranacity a capital do Urucum).

Após os testes com elementos de conhecimento da região do público alvo, utilizou-se como amostra uma calculadora dentro da embalagem original como ilustra a Figura 0.2.

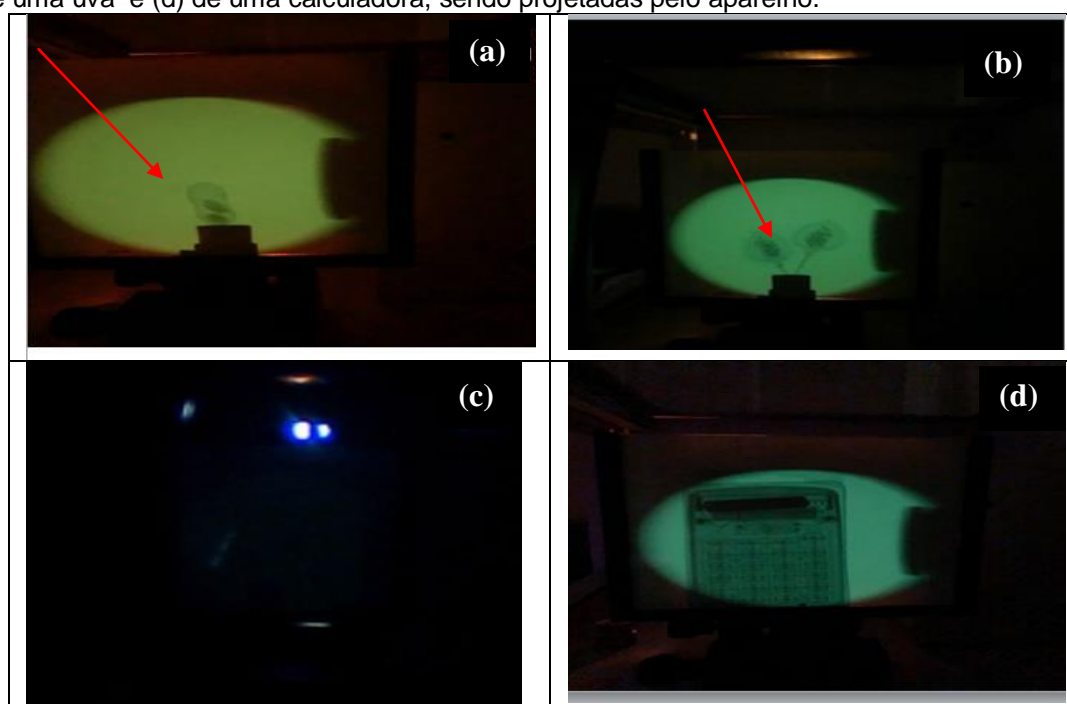
Figura 0.2 – Fotografia registrada no momento em que fora inserida uma calculadora comum dentro da embalagem (indicado pela seta em vermelho) no aparelho de Raios X.



Fonte: arquivos da autora.

Observando as imagens formadas com a aplicação dos Raios X, verificou-se que as imagens que ficaram mais nítidas, devido à absorção, foram a do amendoim (Figura 0.3(a), Urucum (Figura 0.3(b)) e calculadora (Figura 0.3(d)). A ameixa (Figura 0.3(c)) e as demais frutas não apresentaram uma imagem nítida. Assim, definimos que o Urucum e a calculadora seriam os objetos a serem utilizados na SD. Além de se obter as melhores imagens, ressaltamos que o Urucum é encontrado fartamente na região de Inajá fazendo assim, parte do cotidiano dos alunos.

Figura 0.3 – Imagem fotográfica contendo os resultados dos objetos/alimentos utilizados no aparelho de Raios X. Imagem de Raios X: (a) de um fruto de amendoim; (b) de dois frutos de Urucum (com semente); (c) de uma uva e (d) de uma calculadora, sendo projetadas pelo aparelho.

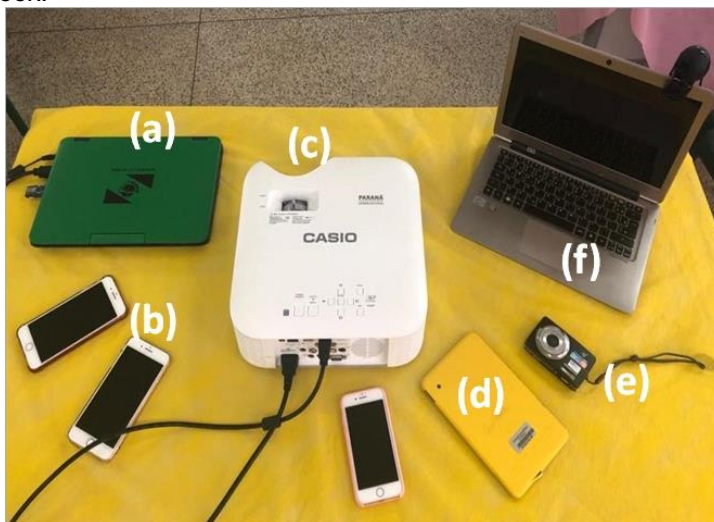


Fonte: arquivos da autora.

Por se tratar de uma escola com distância aproximada de 100 quilômetros da Universidade Estadual de Maringá (UEM) onde se encontra o equipamento de Raios X, a autora decidiu também que faria uso do acesso remoto para realização da experimentação com os alunos.

Desta forma, duas ações já estavam definidas: a experimentação com foco no equipamento de Raios X (Figura 0.1) e os chamados *mobile learning (m-learning)*. Os selecionados para este PE, são os apresentados na Figura 0.4: (a) computador portátil do tipo net-book; (b) smartphones do tipo Android® ou iOS®; (c) projetor multimídia – Datashow; (d) tablet; (e) câmera fotográfica (f) computador portátil do tipo notebook.

Figura 0.4 – Fotografia contendo imagens de materiais de fácil acesso (tanto para os alunos e professores, como para a escola). Sendo: (a) computador portátil do tipo *net-book*; (b) *smartphones* do tipo Android® ou iOS®; (c) projetor multimídia – *Datashow*; (d) *tablet*; (e) câmera fotográfica (f) computador portátil do tipo *notebook*.



Fonte: arquivos da autora.

Reforçando o uso de tecnologias no espaço escolar (acesso remoto). Para isso foram elencados programas (*softwares*) e aplicativos gratuitos, no qual são necessários realizar o *download* e instalação nos computadores, antes da utilização do acesso remoto. São eles:

- *Team Viewer 11*, um programa livre e gratuito que permite o acesso remoto, que deve ser instalado no computador da escola e no laboratório da UEM;
- *Measure*, um programa que controla o equipamento de Raios X (*EXPERT 4.0 - PHYWE*). Esse vem em um *CD* juntamente com o manual do aparelho, deve ser instalado no computador do laboratório a ser acessado;
- *Mydlink*, um aplicativo oficial da D-Link que controla nuvens pessoais com roteadores e câmeras, é um aplicativo de fácil *download*, no qual possibilita a visualização de câmeras ao vivo via nuvem usando conexão *Wi-Fi* ou 3G.

Após a escolha dos programas, materiais e aplicativos necessários para o acesso remoto e a experimentação, foi dado continuidade aos estudos teóricos, planejando assim um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas, buscando alcançar o objetivo educacional.

Assim, o presente Produto Educacional contempla um conjunto de atividades ordenadas, abordando o tema Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X. Este conteúdo encontra-se presente nas Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná (Paraná/SEED/DEB, 2008), na componente curricular Física, no conteúdo estruturante

eletromagnetismo. O mesmo também está presente na Proposta Pedagógica Curricular de Física da Instituição a ser aplicada.

Na elaboração deste trabalho, buscou-se relacionar as atividades com as reais necessidades dos educandos, levando em considerações as concepções prévias dos alunos e as condições para aprendizagem significativa de acordo com a teoria da aprendizagem significativa (TAS) de Ausubel (Ausubel, Novak e Hanesian, 1980). Eles informam, que:

“Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fato isolado mais importante que informação na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie isso nos seus ensinamentos” (AUSUBEL et al, 1980, p.137).

Após abordar a teoria de aprendizagem, buscou-se adotar metodologias capazes de contribuir na efetivação desta aprendizagem, acreditando que o aluno deva participar ativamente de seu aprendizado, para isso baseamos no Construtivismo onde o professor é entendido como um mediador e motivador das intenções entre os alunos e entre eles e o meio. No construtivismo o professor busca criar situações que possam estimular a construção do aprendizado, contribuindo assim para que o aluno possa aprender a aprender. Portanto, a teoria de Ausubel é compatível com a Teoria de Lev Semionovitch Vygotsky (1896-1934) - sócio interacionista (Construtivismo) e a de Jean Piaget (1896-1980) sobre o desenvolvimento cognitivo (“aprender a aprender”), (Ghedin, 2012).

D. Ausubel, considera que o aluno é o principal agente construtor de sua aprendizagem. A teoria propõe que os conhecimentos prévios dos alunos sejam valorizados, para que possam construir estruturas mentais utilizando, como meio, mapas conceituais que permitem descobrir e redescobrir outros conhecimentos, caracterizando, assim, uma aprendizagem prazerosa e eficaz.

De acordo com a TAS, leva-se em consideração que quando o aluno chega à escola para estudar Física, o mesmo já possui concepções empíricas sobre os fenômenos Físicos que acontecem a sua volta, essas concepções também podem ser consideradas como conhecimentos prévios (denominados por Ausubel de subsunçores). Cabe aos educadores motivar e buscar maneiras para que as duas condições necessárias (disposição e o conteúdo ser significativo) aconteçam e a aprendizagem ocorra. Não esquecendo que para uma prática pedagógica eficaz, se faz necessário um embasamento teórico.

Em relação às avaliações estas são diagnósticas, ou seja, utilizam-se instrumentos

que facilitem a verificação de aprendizagem. Aplicam-se mapas conceituais iniciais para analisar os conhecimentos prévios e mapas conceituais no término da SD para verificar a evolução do processo ensino aprendizagem.

A sugestão de aplicação do presente PE é para estudantes da Terceira Série do Ensino Médio, na qual se realiza um estudo mais detalhado sobre ondas eletromagnéticas em especial os Raios X. O material apresenta diversas atividades, contemplando as mais possíveis formas de aprendizagem, são elas: Raios X de objetos presentes no cotidiano, debates, seminários, mapas conceituais, uso de tecnologias no espaço escolar, sendo o professor interlocutor e mediador das atividades propostas, favorecendo assim a aprendizagem significativa e buscando evidenciar o aluno como sujeito ativo e protagonista.

Esclarecendo que o Eletromagnetismo é um tema presente no ensino da escola básica, no entanto ao abordarem os conceitos de ondas eletromagnéticas não enfatizam a importância e presença dos Raios X, nem se quer com uso de experimentação. Além disso, ressalta-se que muitas vezes os conceitos são abordados superficialmente, apenas com o uso do livro didático público, na qual o aluno é apenas o receptor. Identificando essa necessidade, é proposto um estudo mais detalhado dos Raios X com realização de uma atividade experimental, fazendo uso de tecnologias e promovendo uma aproximação da escola pública com a Universidade.

Os conteúdos abordados neste PE seguem um cronograma, partindo do conceito mais amplo de ondas, ondas eletromagnéticas chegando até o específico de Raios X. Os conceitos Físicos essenciais para aplicação desta SD são: Contextualização do surgimento da Física Moderna e Contemporânea à partir do final do século XIX; Ondas eletromagnéticas; Espectro Eletromagnético; Produção e aplicação de Raios X na tecnologia; Noções de Física Nuclear, acelerador de partículas – Luz Síncrotron. Para auxiliar a quem foi aplicar, este conteúdo está apresentado como um texto de apoio no Apêndice B.

E este é o trabalho que vos aguarda, para aplicar, e esperamos um resultado tão satisfatório quanto tivemos. Ressaltamos que este texto contém partes descritas exatamente iguais a da dissertação de mestrado (Maldonado, 2020) que gerou o presente trabalho. Mas, não exatamente na mesma ordem.

1 – Apresentação do Produto Educacional

Buscando proporcionar uma maior aproximação do aluno do Ensino Médio com o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea e fazendo uso de tecnologias educacionais no espaço escolar por meio do Acesso Remoto desenvolveu-se uma Sequência Didática.

O conteúdo abordado é o de ondas eletromagnéticas, especificamente as ondas de Raios X. Esse conteúdo ao ser abordado na componente curricular de Física no Ensino Médio, muitas vezes é bem superficial, sem atividades experimentais e em forma apenas de textos, normalmente a do livro-texto adotado pela instituição.

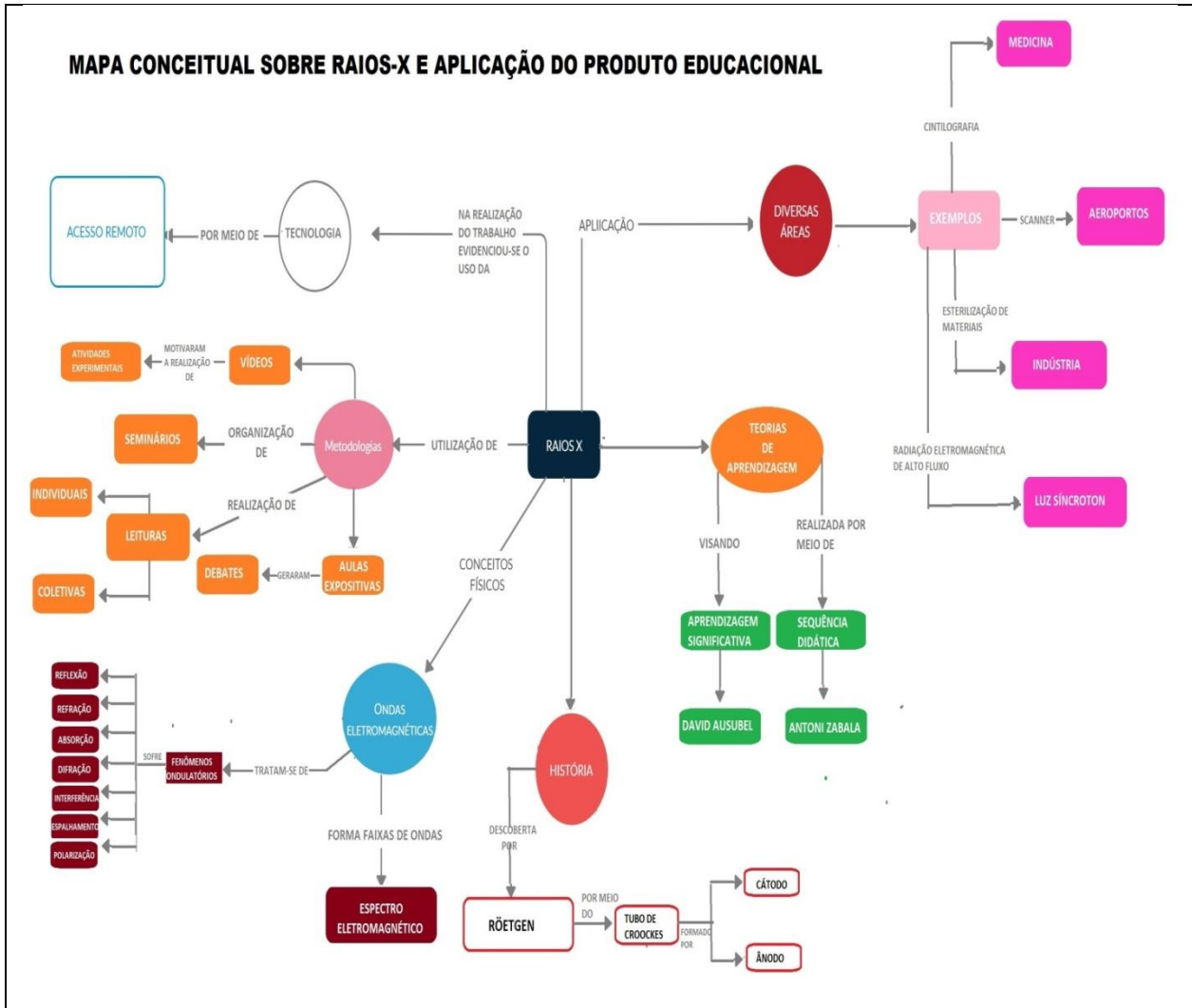
O objetivo principal ao planejar e aplicar essa SD, é o de proporcionar uma aprendizagem significativa, ou seja, que os novos conhecimentos relacionem-se com o conhecimento prévio (subsunçores) que o aluno possui, e que esses tenham significados, seguindo a teoria de aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel (Moreira e Masini, 2006). Acreditando-se também que os alunos possam sentir-se mais motivados e consigam relacionar e valorizar a importância da Física como Ciência, pois foi estruturado considerando o cotidiano, o conteúdo científico e a experimentação apresentando diversas possibilidades didático-metodológicas.

O público alvo para aplicação desta SD é sugerida o terceiro ano do Ensino Médio, na componente curricular Física, com o uso de 8 aulas de 50 minutos cada para aplicação integral.

Para realização da experimentação há uma parceria com o Laboratório de Acesso Remoto que possui um equipamento de Raios X (EXPERT 4.0 - PHYWE), na Universidade Estadual de Maringá. Utilizou-se esse aparelho de Raios X para capturar imagens de uma calculadora no interior da sua embalagem e da fruta Urucum na forma original (dentro da casca) que foram previamente selecionados na fase do planejamento. Tal captura é feita via acesso remoto em tempo real, por alunos e professores situados na própria escola. É necessário um auxílio técnico para ter quem coloque a amostra no aparelho, apague a luz externa (a da sala) e organize o laboratório.

Destacando que a autora ao iniciar a escrita do Produto Educacional, elaborou o seu mapa conceitual, esse que serviu como um norteador de todo o trabalho proposto conforme Figura 1.1.

Figura 1.1 – Imagem do Mapa conceitual elaborada pela autora no início da elaboração do Produto Educacional. Para visualizar de um zoom.



Fonte: a autora

Como instrumentos avaliativos utilizaram-se mapas conceituais e seminários. O mapa conceitual é usado inicialmente para avaliar o conhecimento prévio do aluno, o seminário é usado durante a aplicação do conteúdo e para finalizar utiliza-se outro mapa conceitual para comparar com o inicial e analisar a evolução da aprendizagem, verificando assim se objetivo foi atingido.

1.1 Práticas Pedagógicas e Materiais Utilizados

Contempla-se nesta Sequência Didática as seguintes práticas pedagógicas:

- a) O uso de Mapas Conceituais;

- b) A pesquisa e o trabalho como princípios educativos;
- c) Uso de tecnologias educacionais – “*Mobile learning (Carvalho, 2016)*” e o Acesso Remoto;
- d) Experimentação.

Para a aplicação desta SD são necessários os seguintes materiais, equipamentos, programas e aplicativos:

- Papel sulfite para elaboração dos Mapas Conceituais;
- Livros diversos para pesquisa bibliográfica;
- Projetor multimídia para apresentações dos seminários e vídeos;
- Computadores com acesso à *internet*;
- Objetos diversos (Urucum e calculadora) para realização de Raios X
- Equipamento de Raios X (*EXPERT 4.0 - PHYWE*) – Disponível no Bloco G68 sala 14 – DFI – UEM;
- Programas Computacionais (*softwares*): *Team Viewer 11*; *Windows 10* ou *Linux*; e *Mydlink*.

1.2 Elaboração e Estrutura da SD

Na elaboração desta Proposta Didática, baseada na SD segundo Zabala, como Produto Educacional, buscou-se relacionar as atividades com as reais necessidades dos educandos, levando em consideração as concepções prévias dos alunos e as condições para aprendizagem significativa, pois segundo Zabala, (1998):

“para compreender o valor educacional de uma sequência didática e as razões que a justificam, é necessário identificar suas fases, as atividades que a conformam e as relações que se estabelecem. A partir daí, pode-se introduzir mudanças ou atividades novas que a melhorem, tendo em vista atender às reais necessidades dos educandos.”(ZABALA,1998, p.54).

O conteúdo de Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X encontra-se nas Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais de Física (Brasil, 2000; 2002), contemplado no item III - Ciência e Tecnologia na Atualidade e no Tema Estruturador 4 (Som, Imagem e Informação).

As atividades presentes na SD são ordenadas de maneira a aprofundar o tema que está sendo estudado. As metodologias são: leituras, aulas dialogadas, seminários, uso de tecnologias educacionais, mapas conceituais, vídeos e experimentos com acesso remoto. Desta forma, cabe ao professor ser o interlocutor e mediador das atividades propostas. Para facilitar, detalhar e deixar mais claro a organização desta SD apresenta-se uma “ficha técnica” e, posteriormente, a estrutura das aulas.

1.3 Ficha Técnica – Sequência Didática

Apresentamos, nesta seção, o Quadro 1.1. Nele, podemos observar a sugestão da estrutura das aulas a serem desenvolvidas, bem como, dados relacionados a estas aplicações.

Quadro 1.1 – Ficha Técnica da Sequência didática.

TEMA: Ondas eletromagnéticas com ênfase em Raios X
TIPO: <i>Investigação Científica e Aprendizagem significativa</i>
PÚBLICO ALVO: <i>Alunos do Terceiro ano do Ensino Médio</i>
DURAÇÃO: <i>08 aulas</i> ³⁰ .
<p>CONTEÚDOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contextualização do surgimento da Física Moderna e Contemporânea a partir do final do século XIX; - Ondas eletromagnéticas; -Espectro Eletromagnético; -Produção e aplicação de Raios X na tecnologia; - Noções de Física Nuclear - Acelerador de partículas – Luz Síncrotron.
<p>OBJETIVOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compreender e relacionar a importância, a presença e a evolução da Física para a humanidade; - Analisar e diferenciar os tipos de ondas eletromagnéticas; - Entender o espectro eletromagnético; - Reconhecer a importância da descoberta dos Raios X, bem como diferenciar fontes naturais de fontes artificiais que emitem os Raios X; - Identificar as diferentes áreas de aplicação dos Raios X com a evolução tecnológica;

³⁰ Considerar que cada hora-aula contenha 50 minutos de duração.

<p>- Compreender a importância dos Raios X nos dias atuais destacando a descoberta da Luz Síncrotron.</p>	
<p>METODOLOGIAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mapas Conceituais; - Pesquisas bibliográficas; - Textos; - Vídeos; -Uso do Acesso Remoto – Laboratório UEM- LARI 	<p>RECURSOS DIDÁTICOS E TECNOLÓGICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Livros didáticos e paradidáticos; - Laboratório de informática; - <i>Notebook</i> e retroprojektor (“<i>Mobile learning</i>”) - Cópias reprográficas (“Xerox”) e impressão de materiais; - Lousa e pincel
<p>AVALIAÇÃO:</p> <p>- Elaboração de mapas conceituais e comparação entre mapa conceitual inicial com o final, fazendo uso da teoria da aprendizagem significativa de D. Ausubel. Avaliação diagnóstica, sendo o mapa inicial para identificar os conhecimentos prévios dos alunos e o mapa conceitual final para verificar se houve avanços no processo ensino-aprendizagem.</p> <p>-Apresentação de seminários, com os seguintes critérios de avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Postura do aluno; ▪ Conteúdo da pesquisa; ▪ Domínio do conteúdo pesquisado; ▪ Criatividade; ▪ Organização da ideias principais. 	
<p>Referências Bibliográficas recomendadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais Mais: Ensino Médio – Brasília: Ministério da Educação, 2000 e 2002. 2. BURKARTER, E. et al. Livro Didático Público – FÍSICA – 2ª. Edição. SEED-PR, Curitiba: 2007. Cap. 12 pág. 195 3. CHIBENI, Silvio Seno AS ORIGENS DA CIÊNCIA MODERNA Disponível em:<www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>Acesso em 10 de Maio de 2018. 4. GASPAR, A. – Compreendendo a Física Eletromagnetismo e Física Moderna – Volume 3.Editora Ática, 2ª. Edição; São Paulo: 2014. 5. GOULART, Cláudia. As práticas orais na escola: o seminário como objeto de ensino. Campinas, 2005. 228p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Estudos da Linguagem, 	

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

6. HALLIDAY, D., RESNICK, R. - Fundamentos de Física. Vol. 4: Ótica e Física Moderna. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.
7. LABORATORIO NACIONAL DE LUZ SINCROTRON (LNLS). Disponível em <<https://www.lnls.cnpm.br/>> acesso em 20 de Maio de 2018.
8. LIMA, Rodrigo Silva. AFONSO, Júlio C. Raios-x: fascinação, medo e ciência. Revista Química. Nova, Vol. 32, No. 1, 263-270, 2009.
9. SILVA, C. X.; FILHO, B.B.; Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, física moderna - Vol. 3 .1ª. Edição, FTD, São Paulo: 2010.

Fonte: adaptado de Nitsche, 2019.

1.4 Estrutura das Aulas

Apresenta-se, nesta seção, o Quadro 1.2. que consta de uma sugestão para a estrutura e conteúdo das aulas a serem desenvolvidas, bem como, dados relacionados a estas aplicações.

Quadro 1.2 – Estrutura e conteúdo das aulas a ser desenvolvidas.

Identificação
Instituição:
Turma:
Nº de Alunos:
Professor (a):
Trimestre:
AULA 1
Diálogo para apresentação do trabalho a ser realizado (SD), informações com relação à autorização e aplicação. ➤ Atividade 1 - Investigando o conhecimento prévio do aluno. Entrega de uma folha com a palavra Raios X, solicitando aos alunos que reflitam, busquem relacionar outras palavras ao tema e escreva-as na folha. Elaborando assim um mapa conceitual. Os mesmos já tinham conhecimento de mapas conceituais. Os conceitos ou palavras que forem apresentadas nos mapas conceituais deverão ser analisadas e poderão servir de âncora para a nova aprendizagem - Modelo no Apêndice A.

AULA 2

Organização e sorteio dos temas dos seminários

- Os temas foram estabelecidos, no entanto o aluno pode ser visto como agente construtor, pois têm a liberdade de escolher quais materiais pretende usar, de que forma, quais recursos, com qual linguagem irá conseguir se identificar e como irá abordar o tema.
- Divisão dos alunos em grupos (de no máximo 5 alunos), com sorteio e orientações aos grupos sobre os temas para pesquisa e posterior (aulas 4 e 5) apresentação em forma de seminários. Quando se tratar de uma turma numerosa provavelmente será necessário os 50 minutos da aula para organizar e orientar os grupos sobre os seminários. Os temas foram estabelecidos para ter um sequência, no entanto, cada grupo ficará livre para usar as ferramentas e metodologias que julguem necessárias.

TEMAS:

1. O que são ondas e como podem ser classificadas;
2. Ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético com ênfase em Raios X;
3. Como surgiram os Raios X, uma visão histórica;
4. Produção de Raios X, propriedades e difração;
5. Detecção de Raios X e aplicações na saúde e na alimentação;
6. Aplicação dos Raios X na indústria, segurança e investigação científica (novas descobertas).

Sobre essas questões há no Apêndice B, um texto de apoio sobre esse conteúdo.

AULA 3

➤ **Atividade 2** - Leitura coletiva de um texto científico para compreender a origem da Física Moderna. Acreditando ser fundamental para o aluno a familiarização de textos mais complexos, visto que estão próximos de tornarem-se universitários.

➤ Título do texto - As Origens da Ciência Moderna - Chibeni (2018).

Aula Expositiva com debates sobre a Física Moderna e Contemporânea.

AULAS 4 e 5

➤ **Atividade 3** - Apresentação dos seminários dos grupos distribuídos e organizados na aula 2, com duração média de 15-20 minutos cada.

AULA 6

Nessa aula sugere-se que os alunos trabalhem de forma individual com a leitura e síntese de um texto sobre Raios X com o título: Raios X- Fascinação, Medo e Ciência. Pretende-se assim, agregar novos significados ao subsunçor, de acordo com a teoria de Ausubel.

➤ **Atividade 4** – leitura e elaboração de uma síntese sobre o texto.

Título: Raios x: fascinação, medo e ciência. (Lima, 2009).

AULA 7

- Sugere-se que o professor faça uma abordagem sobre Acesso Remoto e apresente o equipamento de Raios X do Laboratório de Acesso remoto da UEM.

➤ **Atividade 5** - Atividade Experimental – Manipulação do equipamento de Raios X por acesso remoto em tempo real, com realizações de experimentos utilizando objetos presentes no cotidiano.

ROTEIRO DA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Este é o roteiro experimental para que se possa acessar remotamente o equipamento de Raios X, do laboratório LARI/DFI/UEM. O modelo disponível é o EXPERT 4.0 da PHYWE. Lembrando que para seu uso, deve-se agendar antecipadamente.

Materiais, equipamentos e programas necessários

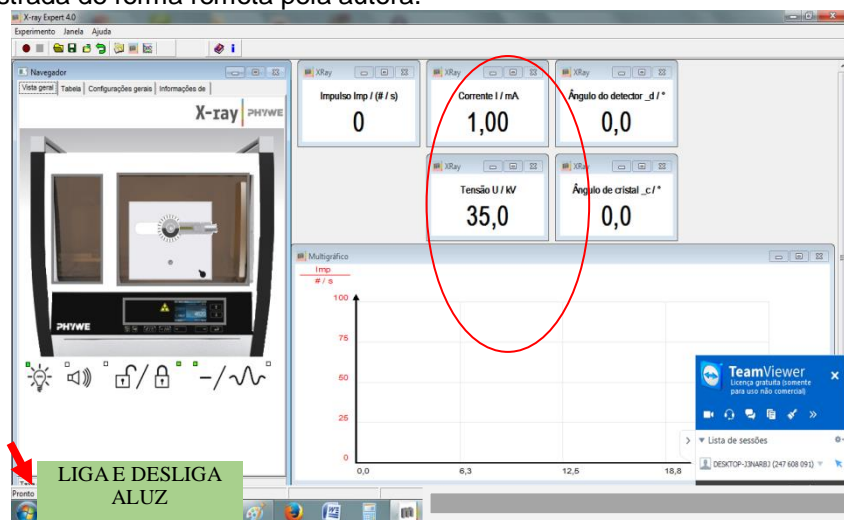
- Computadores, Celulares e Retroprojetores (*Mobile learning*);
- Laboratório LARI –UEM agendamento do equipamento X-RAY – Modelo: EXPERT 4.0, Marca - PHYWE;
- Rede WiFi;
- Objetos diversos. Exemplos: calculadora na embalagem original ou no interior de uma caixa, fruto do Urucum, ou outros que tiverem interesse. Escolher materiais cujo invólucro seja fino (espessuras além de 2 mm);
- Programa *software Team Viewer 11* instalado no computador da escola ou o que for utilizar na sala de aula.
- Programa *software Mydlink* instalado no computador da escola (ou o que for utilizar na sala de aula) para ter acesso às imagens do LARI.

Procedimento Experimental

- Primeiramente fazer o *download* dos *softwares* Team Viewer e Mydlink no computador a ser utilizado na escola.

- Entrar em contato com o laboratório no qual se encontra o equipamento de Raios X - EXPERT 4.0 (PHYWE), o contato pode ser via site: www.dfi.life.uem.br (ou via programa: *Team Viewer 11*) ou fone 44-30114295 Bloco G68 sala 14 DFI/UEM, ou se direcionar à secretaria do DFI/UEM (3011 43 30).
- Agendar um horário disponível com o professor responsável para testar o aparelho de Raios X via acesso remoto.
- As câmeras serão acessadas via *mydlink* à partir do usuário e senha fornecido pelo responsável do LARI.
- Acessando o *TeamViewer 11* como sendo o acesso remoto. Em seguida o *Measure* (que está instalado no computador que será acessado de forma remota, este vem junto com o equipamento em um cd) para controlar o equipamento de Raios X - EXPERT 4.0 (PHYWE). Inicie o programa "Measure" com o equipamento de Raios X ligado. Verifique a partir das imagens (câmeras) se a luz do aparelho está acesa.
- Com o *Team Viewer 11* testar as funções do equipamento Raios X, como ligar e desligar a luz por meio do programa *Measure*, exemplo na Figura 1.2. A tensão (35,0 kV) e a corrente (1,00 mA) não serão alteradas, permanecerão fixos.

Figura 1.2 – Imagem (*Printscreen*) da tela de comando do programa *Measure* - controle do equipamento, registrada de forma remota pela autora.



Fonte: arquivos da autora.

- Verificado o funcionamento do equipamento, dar o comando, por meio de um aviso/sinal enviado por meio da *webcam*, *WhatsApp web* ou ligação de vídeo, ao responsável, que estará no local presencial onde está o aparelho, para que o mesmo coloque a amostra dentro do equipamento. Após a amostra ser posicionada dentro do equipamento e a “porta” fechada pelo responsável, e visualizar por meio da câmera, então clicar de forma remota no desenho do cadeado fechado, indicado na Figura 1.3 para trava a porta do equipamento, pois o mesmo não funciona se a porta não estiver travada, por motivos de segurança.

Figura 1.3 – Imagem (*Printscreen*) da tela de comando do programa *Measure* - Indicação da tecla para travar o equipamento, registrada de forma remota pela autora.



Fonte: a autora.

- Em seguida iniciar as medidas clicando na imagem de onda conforme indicado Figura 1.4. Para visualizar a imagem dos Raios X é necessário apagar a luz do laboratório (solicitar ao responsável). Ao pressionar a tecla INICIAR MEDIDAS são obtidas as imagens de Raios X dos objetos selecionados, essa é observada por meio das câmeras via *Mydlink*. Após, clicar em parar medidas.

Figura 1.4- Imagem da tela (*printscreen*) acessada de forma remota para mostrar a tecla para iniciar e parar as medidas de Raios X via *Measure*.



Fonte: arquivos da autora.

Para posterior discussão é recomendado fotografar as imagens obtidas de Raios X, conforme exemplo da Figura 1.5, em que se registrou a imagem da calculadora na sua embalagem original.

Figura 1.5 - Imagem fotográfica de Raios X(a) de uma calculadora dentro da embalagem original e (b) de dois urucuns – uma imagem do fruto do Urucum aberto está apresentado na foto na parte superior da imagem (b).



Fonte: arquivos da autora.

Após finalizar os registros de imagens, avisar ao responsável no laboratório que a atividade está encerrada, para que ele organize o local, desligando todo o equipamento, retirando e guardando as amostras. Bem, como possa ser liberado, pois todos são voluntários.

➤ **Atividade 6** - Após a experimentação, realizar uma discussão sobre os resultados obtidos e da experiência realizada.

AULA 8

➤ **Atividade 7** - Vídeo abordando a evolução da Física junto à tecnologia.

Título: SÍNCROTRON – APLICAÇÕES NA CIÊNCIA. (LNLS, 2018).

Debate sobre o vídeo. Após, sugestão de acesso e leitura ao *site* do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. (LNLS, 2018).

Na última sessão do Apêndice B, há um texto sobre esse item. E acrescido de um texto sobre o SIRIUS, caso haja tempo de abordagem, fica como sugestão.

➤ **Atividade 8 - Análise Final** - Entrega de uma folha com a palavra Raios X e elaboração de um novo mapa conceitual para análise e verificação da aprendizagem significativa (avaliação). No capítulo 3 está uma abordagem mais detalhada sobre a questão das avaliações.

Fonte: a autora

2 - Avaliações

Para avaliar é necessário recorrer a diversos instrumentos. De acordo com as Diretrizes Curriculares do Estado do Paraná de Física, a avaliação oferece subsídios para que tanto o aluno quanto o professor acompanhem o processo de ensino-aprendizagem.

Com os instrumentos propostos nesta SD, pretende-se que o aluno possa ampliar, resignificar ou aprimorar seus conceitos relacionados aos Raios X, como aplicação, presença no cotidiano e sua relação com a Física Moderna.

Sabemos que segundo Ausubel, a aprendizagem não ocorre no momento em que avaliamos, para alguns pode levar um maior tempo ou até mesmo nem ocorrer pois depende de fatores cognitivos, afetivos e sociais.

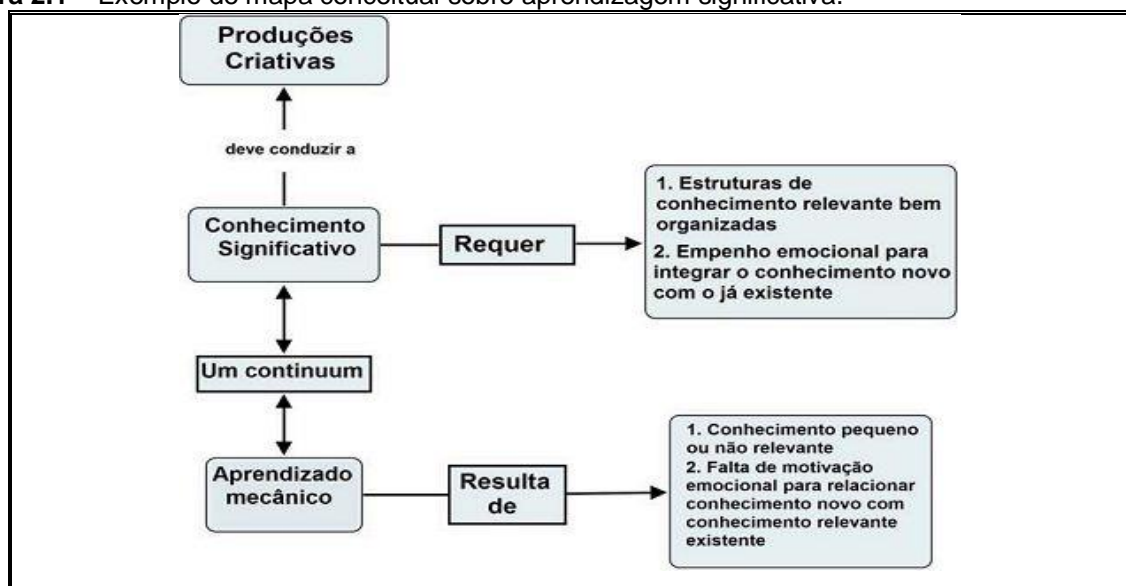
[...] é essencial levar - se em consideração as complexidades provenientes da situação de classe de aula, estes por sua vez, incluem a presença de muitos alunos de motivação, prontidão e aptidões desiguais; as dificuldades de comunicação entre professor e aluno; as características particulares de cada disciplina que esta sendo ensinada; e as características das idades dos alunos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 5).

A avaliação é contínua e diagnóstica, no entanto ocorre com maior ênfase em três momentos: Na aula 1, com a elaboração do mapa conceitual individual para identificar os possíveis subsunçores ou as ideias principais dos alunos sobre o tema. Na aula 4 e 5, com a apresentação dos seminários e na aula 8, com a elaboração do mapa conceitual final, para verificar se ocorreu evolução por parte do aluno com relação a aprendizagem. Justificam-se a seguir, as escolhas e os critérios adotados para cada uma delas.

2.1 Mapa Conceitual (referente as aulas 1 e 8)

Na Figura 2.1, apresenta-se um mapa conceitual sobre aprendizagem significativa elaborado por Novak e Cañas (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?). Neste é possível observar os conceitos distribuídos e relacionados entre si.

Figura 2.1 – Exemplo de mapa conceitual sobre aprendizagem significativa.



Fonte: Novak e Cañas (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?). Disponível em: <<http://www.infoescola.com/pedagogia/mapas-conceituais-no-processo-de-ensino-aprendizagem-aspectos-praticos/>>

De acordo com (Novak e Cañas, 2008) os mapas conceituais podem servir como recurso didático, instrumento de avaliação e ferramenta de intervenção.

- Recurso didático: o mapa conceitual facilita a aprendizagem, por meio de diagramas que são elaborados a partir de um conceito.
- Ferramenta de intervenção: professores e alunos podem utilizá-lo na organização ou planejamento de estudo.
- Instrumento de avaliação: favorece a compreensão e conexão de conceitos por meio da cognição do indivíduo (Moreira, 1999).

Aplica-se o Mapa Conceitual com o objetivo de diagnosticar o conhecimento prévio que o aluno traz sobre o tema e também como avaliação.

Em relação a seu uso na Aula 8, o mapa conceitual é usado como um instrumento avaliativo de comparação e verificação, visto que, compara-se com o mapa inicial no qual o aluno apresenta apenas os conhecimentos prévios e em seguida verifica se ocorreu uma aprendizagem significativa, se existe novas informações que se relacionam com as anteriores ou complementam as mesmas.

Lembrando que não existe mapa conceitual certo ou errado, o que se pode avaliar é o contexto, a relação dos conceitos com o tema proposto e a ligação entre eles.

Nesta SD, a avaliação final é realizada com o uso do mapa conceitual, é um

diagnóstico tanto da aprendizagem do aluno, como da prática pedagógica do professor.

2.2 Seminários (referente as Aulas 4 e 5)

O seminário consiste de uma apresentação oral de determinado tema, e perguntas durante ou no final para esclarecer o assunto abordado. Geralmente quando aplicado em sala de aula, devido ao número de alunos, propõem-se como um trabalho a ser realizado em grupos.

O seminário possibilita um processo sistemático e aprofundado de leitura, análise, interpretação de textos e dados, a fim de se formular um problema de pesquisa, uma hipótese e se conduzir uma investigação.

O uso do seminário como avaliação, permite ao professor ter autonomia para decidir os critérios de avaliação e a forma como o seminário vai ser conduzido.

Campos (2018), afirma que na aplicação do seminário estimula-se o desenvolvimento de outras três técnicas de ensino: a exposição, o debate e o ensino com pesquisa. É visto como um instrumento muito complexo, pois requer diversas ações por parte do aluno para uma boa apresentação.

Para avaliar a apresentação do seminário, adotou-se os seguintes critérios: postura do aluno; conteúdo da pesquisa; domínio do conteúdo pesquisado e a criatividade.

3. Resultados Esperados

Nas diversas atividades realizadas, espera-se que os alunos possam ter uma visão positiva da Física como Ciência. Que consigam, de acordo com os objetivos propostos nas aulas, identificar a importância e a presença das ondas eletromagnéticas no cotidiano e em especial que compreendam a importância da descoberta dos Raios X e suas crescentes aplicações desde o período de Röntgen até os dias atuais com a sua atuação como uma Luz Síncrotron. É importante perceber que assim como possui uma evolução na sua aplicabilidade, foi se aprendendo também os riscos que essa radiação pode causar caso não seja utilizada com os devidos cuidados.

Com relação ao próprio aluno, acredita-se contribuir para a construção do sujeito autônomo, que seja capaz de utilizar as ferramentas que a tecnologia permite acesso a favor do conhecimento. Por exemplo, elaborar atividades ou abordar temas que instiguem a curiosidade dos próprios colegas, em apresentação de seminários, criar vídeos, elaborar experimentos, criar *charges* e tirinhas sobre os temas abordados, ou seja, buscar com que o aluno tenha interesse, autoestima e deixe de ser um coadjuvante para tornar-se protagonista na sala de aula. Destacando sempre a importância do professor como mediador.

Acredita-se que o uso das metodologias propostas contribua na aprendizagem dos diversos alunos, pois sabemos que não há um único caminho, a “sala de aula” é heterogênea, e cabe a cada aluno encontrar a melhor forma de conseguir construir ou reconstruir seu conhecimento. Espera-se que esse conhecimento possa ser significativo e contribua na compreensão do mundo, que possam ter noções de como ocorre os Raios X, que identifiquem a diferença e nitidez das imagens obtidas por Raios X, de acordo com os tipos de materiais que compõem o objeto. Que reconheçam a importância e contribuição dos Raios X no meio científico e no cotidiano, também entendam que a Física é uma ciência que busca descrever, prever, compreender e explicar fenômenos que acontecem com a matéria no decorrer do tempo e espaço.

Considerações Finais

Este PE busca contribuir com o Ensino de Física em especial a FMC no estudo dos Raios X e com a prática pedagógica, este trabalho teve como objetivo a elaboração e aplicação de uma sequência didática, baseando-se na SD proposta por Zabala (2008).

Além disso, o conteúdo de Ondas Eletromagnéticas com ênfase em Raios X está contemplado nas DCNS.

Na SD, é abordada o uso de diversas metodologias e uma atividade experimental com o uso de equipamento de Raios X (PHYWE), baseado na Teoria de Aprendizagem atribuída a Ausubel, e a Aprendizagem Significativa de David Ausubel, (Moreira e Masini, 2006) valorizando os conhecimentos prévios dos estudantes. Neste caso, o tema inicial foi Raios X.

Esta proposta contempla uma relação entre Ciência, (o conteúdo), Tecnologia (uso do acesso remoto) e Sociedade (implicações dos Raios X no cotidiano) e o uso de metodologias diferenciadas, a fim de proporcionar ao aluno maior motivação, participação, contribuindo assim para efetivação de uma aprendizagem significativa.

A escolha dos objetos na atividade experimental fica a critério de cada docente. O Urucum (Bixaorellana) foi apresentado como sugestão, por fazer parte do cotidiano dos alunos na qual a autora atua como docente, região noroeste do Paraná, em que muitos trabalham na colheita ou em cooperativas deste fruto (Inajá fica a 21 Km de Paranacity a capital do Urucum). E no âmbito escolar a amostra escolhida foi uma calculadora dentro da embalagem original. (Figuras 1.5 (a) e (b)). No entanto, é possível e recomendado aplicar a sequência e realizar a experimentação com inúmeros materiais, de acordo com a realidade dos educandos.

Também destacamos que a fundamentação teórica citada é um exemplo de como a autora elaborou o trabalho e assim aplicou, é possível que cada professor possa elencar e dar ênfase aos conceitos de acordo com sua vivência e realidade.

Foi obtido grande êxito quando a autora aplicou a SD, os alunos foram participativos, os temas abordados significativos, a comunidade escolar apoiou o trabalho e o objetivo foi alcançado. Acreditando poder colaborar com a prática docente, buscando despertar e instigar professores a fazerem uso das tecnologias educacionais, em especial o acesso remoto, a autora sente-se muito grata.

Referências

Ausubel, D. P.; Novak, J. D.; Hanesian, H. (1990) *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.

BRASIL. Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Física. Secretaria de Educação Média e Tecnológica/ MEC, Brasília, 2000;

BRASIL, *Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Secretaria de Educação Média e Tecnológica/MEC, 2002.

Campos, A. M. N.. *A prática de ensino dos docentes do Curso de Turismo do CEFET/PA – uma análise centrada na metodologia do ensino*. Maringá: Revista Urutágua. Nº 6,abr/mai/jun/jul, 2006. Disponível em <<http://www.urutagua.uem.br/009/09campos.htm> >. Acesso em 23/08/2018.

Carvalho, R. *Como funciona o Mobile Learning?* (2016). Disponível em <https://www.edools.com/mobile-learning> , Acesso em 24 /05/2018.

Chibeni, Silvio Seno (2018).*As origens da ciência moderna*. Disponível em:<www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/cienciaorigens.pdf>Acesso em 10/10/2018.

C.E. Barão do Rio Branco. *Proposta Pedagógica Curricular para a disciplina de Física – Ensino Médio Organizada por Trimestre*. CE Barão do Rio Branco – EFM e EJA.

Gaspar, A., *Compreendendo a Física Eletromagnetismo e Física Moderna*. 32ª. Ed.São Paulo: Editora Ática, 2014;

Ghedin, E. Teorias Psicopedagógicas do Ensino Aprendizagem. Boa Vista: UERR Editora, 2012.

Goulart, C. *As práticas orais na escola: o seminário como objeto de ensino*. Campinas, 228p. Dissertação de Mestrado. Instituto da Linguagem, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),2005.

Halliday, D.; Resnick, R; Walker, J.,*Fundamentos de Física - Ótica e Física Moderna*. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009;

Laboratório Nacional de Luz Sincrotron (LNLS). Disponível em <<https://www.lnls.cnpm.br/>>. Acesso em 20/10/ 2018.

Lima, R. S.; Afonso, J. C., *Raios-x: fascinação, medo e ciência*. Revista Química. Nova, 32, 1, 263-270, 2009;

Maldonado, A. P. B., Ondas eletromagnéticas com ênfase em Raios X: uma proposta didática com o uso de tecnologias educacionais, Dissertação de mestrado (2020), Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná.

Moreira, M. A.; Masini, E. A. S.; *Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel*. São Paulo: Centauro Editora. 2ª ed. 2006;

Moreira, M. A. Teorias de Aprendizagem, São Paulo: EPU, 1999;

Novak, J. D.; Cañas, A. J.; *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them*. IHMCCmapTools. 1–36, 2008;

Novak, J. D.; Cañas, A. J ; (2010) apud da Silva, A. L. Silva (201?), *Mapas Conceituais no Processo de Ensino-Aprendizagem: aspectos práticos* .Disponível em: <<http://www.infoescola.com/pedagogia/mapas-conceituais-no-processo-de-ensino-aprendizagem-aspectos-praticos/> >

Oliveira, I. F. de. Raios X no Ensino Médio via Acesso Remoto na Perspectiva da Aprendizagem Significativa. 2016. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dissertacao/mnpef/uem.php>>. Acesso em 03/09/2016;

Paraná/SEED/DEB. *Diretrizes Curriculares da Educação Básica de Física Diretrizes Curriculares da Educação Básica/DCEs – Física*. Curitiba: SEED/DEB, 2008.

TeamViewer 11, Teamviewer lança versão final di teamviewer 11, 2015. Disponível em: <<https://www.teamviewer.com/pt/press/teamviewer-finalizes-teamviewer-11.aspx>>. Acesso em 03/09/2016;

Zabala, A. *Prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre, RS: Artmed.57, 1998.

APÊNDICE A – Ficha para as Aulas: 1 e 8 (Mapa Conceitual)

Identificação:

Nome do Colégio: _____

Componente Curricular: Física

Professor(a): _____

Turma: _____

Data da Atividade: _____

Nome do(a) aluno(a): _____

Elabore um mapa conceitual a partir da palavra Raios X.

RAIOS X

APÊNDICE B – TEXTO DE APOIO – FÍSICA DOS RAIOS X

Neste texto será apresentada uma revisão da Física envolvida no contexto dos Raios X, contendo os principais fatos históricos considerados importantes para a contextualização do assunto. Em aspectos relacionados à pesquisa científica, têm-se várias formas de se trabalhar com esse assunto, dependendo do que se deseja analisar. Assim, para contextualizar os Raios X como uma faixa da radiação eletromagnética esta seção foi dividida em 2 principais partes: Ondas eletromagnéticas e os fenômenos ondulatórios, e os Raios X e suas aplicações, em destaque o Síncrotron (LNLS e o SIRIUS).

B.1. Ondas Eletromagnéticas e os Fenômenos Ondulatórios

Segundo Nussenzveig (2002), num sentido bastante amplo, uma onda é qualquer sinal que se transmite de um ponto a outro em um meio com velocidade definida. As ondas podem ser mecânicas, sonoras ou eletromagnéticas. As mecânicas e sonoras precisam de um meio material para se propagar, enquanto que as ondas eletromagnéticas podem se propagar também no vácuo.

As ondas eletromagnéticas foram descritas matematicamente pelo físico escocês James Clerk Maxwell no século XIX. Ele se baseou nas equações dos cientistas: Coulomb, Ampère, Gauss e Faraday, dando a elas uma nova visão e formando um conjunto de quatro equações que demonstram a interação entre o campo elétrico e campo magnético, e suas relações com a tensão e a corrente elétrica. Estas equações passaram a ser conhecidas como as equações de Maxwell e são à base do eletromagnetismo.

Cada uma dessas equações de Maxwell foi determinada empiricamente, e podem ser representadas de três formas. Uma conhecida como a forma integral, a segunda como diferencial, e a terceira como tensorial. Isso porque a primeira envolve integrais, a segunda derivadas, e a terceira tensores (nesta forma, as 4 equações são representadas por duas e é estudada ao introduzir a teoria relativística (Reitz e Milford, 1982)). No Quadro B.1, apresentam-se no contexto de cada lei do eletromagnetismo, as formas, integral e diferencial que são as mais conhecidas.

Quadro B.1 –Equações de Maxwell – formas integrais e diferenciais. Em que: \vec{E} é o campo elétrico gerado, \vec{B} o campo magnético, ϵ_0 a permissividade no vácuo, μ_0 permeabilidade magnética no vácuo, Φ_E representa o fluxo elétrico, Φ_B fluxo magnético, t o tempo e i_c todas as correntes envolvidas. E, na forma diferencial ρ é termo de densidade de carga e \vec{j} da densidade de corrente.

Equações de Maxwell	
Nas equações a seguir consideramos: $\vec{E} = \vec{E}(\vec{r}, t)$ e $\vec{B} = \vec{B}(\vec{r}, t)$	
Lei de Gauss Elétrica	
Forma Integral $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dA = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss Magnética	
Forma Integral $\oint \vec{B} \cdot \hat{n} dA = 0$	Forma Diferencial $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Lei de Ampère – Maxwell	

Forma Integral	Forma Diferencial
$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i_c + \frac{\varepsilon_0 d\phi_E}{dt} \right)$	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$
Lei de Faraday – Lenz	
Forma Integral	Forma Diferencial
$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\phi_B}{dt}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

Fonte: adaptado da referência <<https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas-eletromagneticas-e-luz/equacoes-de-maxwell/709>>.

Analisando cada uma delas:

1º - Lei de Gauss para a eletricidade: a primeira das quatro equações foi proposta primeiramente pelo matemático alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Essa equação observada na forma integral relaciona o fluxo do campo elétrico (Φ_E) numa superfície fechada (dA) com cargas no seu interior, relacionando os campos elétricos ($\vec{E}(\vec{r}, t)$) e suas fontes às cargas elétricas (q), e pode ser aplicada mesmo para campos elétricos variáveis com o tempo. Esse termo de fonte na representação diferencial é a densidade de carga $\rho(\vec{r}, t)$.

2º - Lei de Gauss para o magnetismo: esta segunda equação equivale a da primeira lei, mas aplicável aos campos magnéticos ($\vec{B}(\vec{r}, t)$). Como no caso do campo magnético não existem monopolos magnéticos, o fluxo (Φ_B) através de qualquer superfície fechada (dA) é nulo. De acordo com essa lei, as linhas de campo magnético são contínuas, diferente das linhas de força de um campo elétrico que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas.

3º - Lei de Ampère- Maxwell: a lei de Ampère descreve a relação entre um campo magnético ($\vec{B}(\vec{r}, t)$) e a corrente elétrica (i) que o origina. A equação define a integral de linha do campo elétrico em qualquer curva fechada. Também estabelece que um campo magnético é sempre produzido por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável. Este último previsto por Maxwell, pois se um campo magnético variável no tempo induz uma corrente elétrica (i), e conseqüentemente um campo elétrico, então um campo elétrico ($\vec{E}(\vec{r}, t)$) variável no tempo deve induzir um campo magnético ($\vec{B}(\vec{r}, t)$). No caso diferencial, $\vec{J}(\vec{r}, t)$ é o termo da densidade de corrente.

4º - Lei de Faraday-Lenz: essa quarta equação descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético variável ($\vec{\Phi}_B(\vec{r}, t)$). Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos do tipo rotacionais.

Unindo a força de Lorentz³¹ (Eq. [B.1]), que representa a superposição de duas forças, a gerada pelo campo elétrico e a pelo campo magnético, que atuam sobre uma partícula de carga (q) que se move com velocidade \vec{v} na presença de campo magnético,

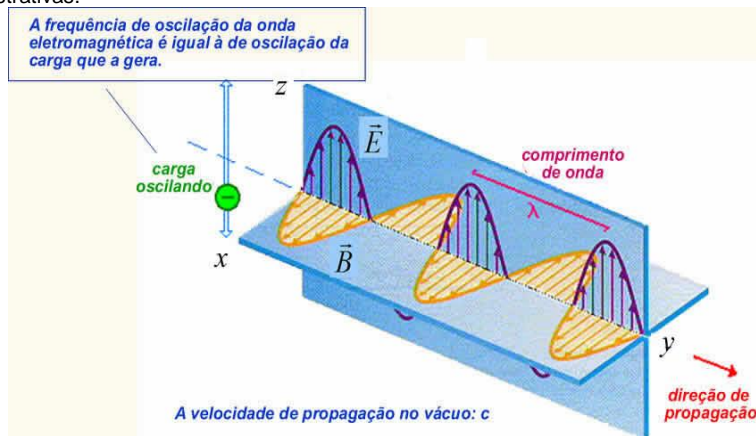
$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}), \quad [B.1]$$

e as 4 equações de Maxwell, está a base do eletromagnetismo e conseqüentemente da óptica clássica. Essa força é importante, pois está aplicada no funcionamento dos ciclotrons, raios catódicos, espectrômetros de massa, canhões elétricos, entre outros.

³¹ Hendrik Antoon Lorentz, escreveu esta lei em 1892, que denominou de força ponderomotiva. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/For%C3%A7a_de_Lorentz. Acesso: 29/02/2020.

Os conceitos fundamentais para compreensão das ondas eletromagnéticas, primeiramente deve-se ter bem claro que essas são compostas por campo elétrico e magnético simultâneos, que oscilam em planos diferentes, perpendiculares entre si, conforme a Figura B.1.

Figura B.1 – Representação de uma onda eletromagnética transversal – apresentação dos campos elétrico (\vec{E}) e magnético (\vec{B}). As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: <https://moodle.ufsc.br/mod/book/view.php?id=504304&chapterid=2717>.

Assim, Maxwell provou que a luz é uma onda eletromagnética e que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$). Todas estas contribuições, o tornou tão importante para o Eletromagnetismo quanto Isaac Newton é para a Mecânica Clássica.

Segundo Albert Einstein e a Teoria da Relatividade, a máxima velocidade alcançada por uma onda eletromagnética é c pode ser calculado por meio da equação:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} . \quad [\text{B.2}]$$

Na Equação [B.2] o termo μ_0 representa a permeabilidade magnética no vácuo dada por: $4 \pi \times 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$, e ϵ_0 é a constante permissividade no vácuo dada por: $\approx 8,85418782 \times 10^{-12} \frac{\text{A}^2 \text{s}^4}{\text{Kg m}^3}$.

O comprimento de onda, representado por λ , indicado na Figura B.3, é a distância espacial que separa dois pontos consecutivos de uma onda que têm a mesma configuração espacial. Os pontos mais altos de uma onda são denominados de crista e os pontos mais profundos são denominados vales.

As ondas eletromagnéticas apresentam algumas propriedades em comum que sempre podem ser observadas, são elas:

- Os campos, elétrico e magnético são perpendiculares entre si, bem como à direção de propagação da onda;
- Os campos variam sempre na mesma frequência (f) e estão em fase;
- A sua velocidade de propagação é igual à velocidade constante da luz no vácuo “ c ” ($c \approx 299.792,458 \text{ km/s} \approx 300.000 \text{ km/s} = 300.000.000 \text{ m/s}$), e pode variar dependendo do meio em que se propaga.

A equação [B.3] ilustra a relação entre o comprimento de onda (λ), velocidade da luz (c) e frequência (f) de oscilação da onda:

$$\lambda = \frac{c}{f} . \quad [B.3]$$

As ondas eletromagnéticas têm características especiais que as diferem das ondas mecânicas (ex. numa corda, ou em uma mola) ou das ondas sonoras, pois não necessitam de um meio de propagação que dê suporte a elas. Por outro lado, alguns aspectos são comuns a todas as ondas, como a possibilidade de transferir energia de um ponto a outro sem transferência de matéria (Machado, 2006).

Elas apresentam uma grande relevância, tanto no meio científico quanto no meio tecnológico. Diariamente, estamos interagindo com algum tipo de onda eletromagnética, sejam por uso de celulares, exames médicos, em aeroportos, com radiações nucleares, entre outros, ou naturalmente, a luz solar (radiação ultravioleta, infravermelho, faixa do visível,...).

Além disso, Max Planck, em 1900, deu início à chamada Física Quântica, com seus postulados sobre a radiação de corpo negro. E, Albert Einstein, em 1905, revolucionou os conhecimentos da Ciência, lançando a Teoria da Relatividade e o Efeito Fotoelétrico, abrindo caminho para o maior desenvolvimento científico da história. Com isso, as equações de Maxwell podem ser consideradas o marco final da chamada Mecânica Clássica.

Na subseção seguinte aborda-se um estudo detalhado sobre o espectro das ondas eletromagnéticas, dando ênfase para a visualização na faixa em que está situada a radiação de Raios X Bem como, quais os outros tipos de radiação fazem parte deste espectro.

B.1.1 Espectro Eletromagnético

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação a sua frequência (f) ou comprimento de onda (λ). Pode ser organizado e representado em ordem crescente de comprimento de onda. Também conhecido como uma escala de radiações eletromagnéticas, e são identificados por regiões conforme apresentado na Tabela B.1, com valores aproximados do comprimento de onda, frequência e energia para regiões selecionadas.

Tabela B.1 - Espectro da radiação eletromagnética. Apresentação dos sete tipos de ondas eletromagnéticas, bem como, o comprimento de onda (medido em Angstroms e centímetros); frequência em Hertz (Hz) e, energia (medida em eletrovolts (eV)).

Espectro de Radiação Eletromagnética				
Região	λ (Å)	λ (cm)	f (Hz)	E (eV)
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 310^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 10^{-2}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 10^{-2}$

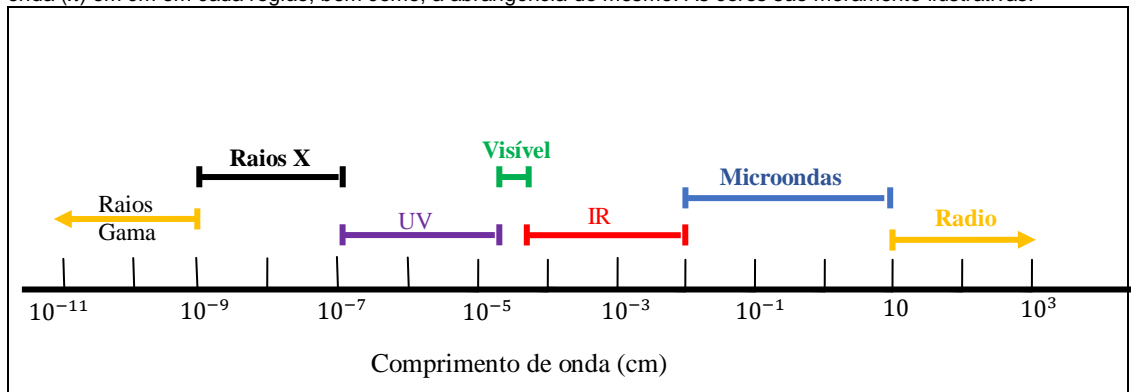
Infra-vermelho	$10^6 - 7 \times 10^3$	$10^{-2} - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4,3 \times 10^{14}$	$10^{-2} - 2$
Visível	$7 \times 10^3 - 4 \times 10^3$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{14} - 7,5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4 \times 10^3 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7,5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios X	$10 - 0,1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Raios Gama	$< 0,1$	$< 10^{-9}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Fonte: adaptada da referência Instituto de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>>.

Portanto, no espectro eletromagnético são representados, para melhor visualização na Figura B.2, os sete tipos de ondas de radiação eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, Raios X e Raios Gama. As ondas se propagam à velocidade da luz (c) e, com exceção da luz visível, são todas invisíveis a olho nu.

Essas ondas previstas por Maxwell, em 1873, foram confirmadas experimentalmente por Heinrich Hertz, em 1888, por meio de aparelhos emissores e detectores de Radio. Conforme ilustrado na Figura B.2, este faz parte do espectro de ondas eletromagnéticas que tem o maior comprimento de onda, sua faixa variando de 10 a 10^3 cm.

Figura B.2 – Representação do limite do espectro eletromagnético. Esquematização dos valores numéricos dos comprimentos de onda (λ) em cm em cada região, bem como, a abrangência do mesmo. As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: Adaptada da referência do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>>

Há também o espectro de luz visível, que pode ser subdividido de acordo com a cor, o vermelho nos comprimentos de onda longos e violeta para os comprimentos de onda mais curtos, conforme ilustrado, esquematicamente, na Figura B.3. O original da figura usa um acrônimo para lembrar a ordem das cores, sendo esse a sequência nas iniciais das cores na língua inglesa: ROY G BV (um acrônimo para a sequência de matrizes comumente descrita constituindo o arco-íris)³². Mas no lugar de um acrônimo há na literatura³³ em português uma regra mnemônica: Vamos LAVamos Avançar

³² Apresentação das regiões red=vermelho; orange=alaranjado; yellow=amarelo; Green =verde; blue=azul e Violet =violeta.

³³ Disponível no site: <<https://pt.wikihow.com/Lembrar-as-Cores-do-Arco-%C3%8Dris>>.

Figura B.3 – Representação esquemática da sequência de cores do espectro visível, e a regra mnemônica utilizada para lembrar a sequência das cores.



Fontes: adaptado das referências <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>> e <<https://pt.wikihow.com/Lembrar-as-Cores-do-Arco-%C3%8Dris>>.

Contextualizado a faixa em que se encontram os chamados Raios X (10^{-9} a 10^{-7} cm), que não é visível aos olhos, como o espectro do visível³⁴ apresentado na Figura B.3, apresenta-se na próxima subseção a propriedade das ondas denominada de difração.

B.1.2 Difração

Para compreender o fenômeno da difração nesta subseção será apresentada para a luz, uma onda eletromagnética na faixa do visível (Figura B.3).

A luz de acordo com a Óptica Geométrica apresenta os fenômenos de reflexão e refração, baseada no princípio de propagação retilínea. Contrariando este princípio, via Óptica Física, a luz ainda tem a capacidade de contornar obstáculos³⁵ colocados em sua trajetória, esse fenômeno é denominado de difração.

Fenômeno esse descrito e publicado pelo físico e padre jesuíta Francesco Maria Grimaldi (1618-1663), em meados do século XVII, denominado por ele de “*Diffraction*”. Conforme citado por Bassalo (1995):

“Em 1665, no livro *Physico-Mathesis de Lumine, ColoribusetIride* publicado após sua morte, o físico Italiano Francesco Maria Grimaldi (1618 – 1663) descreveu algumas experiências nas quais mostrou que a propagação da luz pode se realizar de uma quarta maneira (além das três tradicionalmente conhecidas a sua época: reflexão, refração e difusão) denominada por ele, então de **difração**”. Sua convicção a respeito desse novo fenômeno foi tão grande que o apresentou como proposição I desse seu livro e, a partir daí, passou a relatar algumas experiências que realizou explicando-as por intermédio desse novo fenômeno físico que acabara de descobrir. Na descrição de uma dessas experiências, Grimaldi demonstrou que se um feixe de luz branca passar através de dois estreitos orifícios, situados um atrás do outro, e em seguida atingir um anteparo branco, haverá neste uma região iluminada além da que deveria existir se a luz se propagasse em linha reta. É como se a luz se “encurvasse” ao passar pelos orifícios, afirmou Grimaldi. (BASSALO, 1995, p. 294).

Todos os sistemas ondulatórios sejam elas ondas sonoras, eletromagnéticas ou mecânicas, possuem este fenômeno.

³⁴Sendo esta a faixa em que se formam o arco Iris na decomposição da luz do Sol, ao incidir nas gotas de chuva. Este fenômeno da natureza ocorre devido a efeitos de refração e reflexão da luz.

³⁵Como exemplo pode-se citar a incidência de um feixe de luz laser em um fio de cabelo esticado, como apresentado na referência de Oliveira (2015).

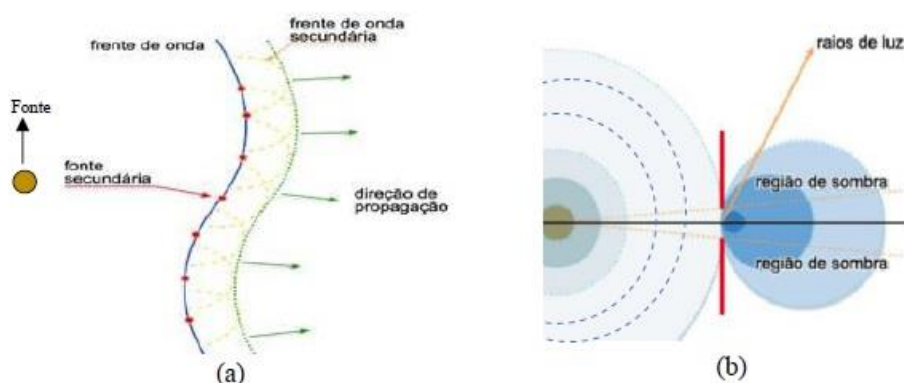
A difração ocorre toda vez que uma porção de uma frente de onda é obstruída de alguma maneira. O que ocorre, é que ao encontrar um obstáculo os vários segmentos da frente de onda sofrem alterações de amplitude ou fase tais que, ao se propagarem após o obstáculo, sofrem interferência ocasionando uma distribuição particular de energia que é conhecida como espectro de difração ou figura de difração.

Nem sempre observamos a difração da luz em nosso cotidiano, mas esse fenômeno se faz presente, um exemplo é a difração das ondas sonoras, o som contorna diversos obstáculos de tamanhos diversos, tais como pessoas, árvores e móveis situados em determinado ambiente.

O que diferencia a difração do som do da luz são os seus respectivos comprimentos de onda. O comprimento de onda do som é da ordem de 1 m , enquanto que o da luz visível é da ordem de 500 nm ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). As ondas eletromagnéticas utilizadas na transmissão de sinais para rádio, televisão e telefonia móvel apresentam comprimentos de onda que variam entre algumas dezenas de centímetros até alguns quilômetros, essas, dependendo do caso, contornam facilmente obstáculos como árvores e carros e até prédios.

No caso da luz visível, de acordo com o princípio de Huygens proposto por Christiaan Huygens no século XVII (1678), esquematizado na Figura B.4 (a), cada ponto de uma frente de ondas comporta-se como um centro emissor de ondas esféricas com a mesma frequência da fonte original.

Figura B.4 – Esquema do Princípio de Huygens (a) para a construção geométrica de uma frente de onda, a partir de uma frente de onda anterior. (b) ilustração de uma frente de onda esférica indicando as regiões de sombra após a fenda



Fonte: adaptados da referência (Zilio, 2007), disponível em: <<http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/difracao/huygens/>>

Nesse caso, quando a onda eletromagnética (raio de luz) incide a fenda (obstáculo de dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz incidente) é como se ocorresse um espalhamento causado devido a essa interação, ou seja, o raio segue uma trajetória que não obedece às leis da óptica geométrica, pois é desviado sem haver mudanças no índice de refração do meio, provocando uma perturbação, conduzindo-a para locais que não deveria ser detectada normalmente, que são as regiões de sombra, conforme ilustrado na Figura B.4 (b), (Zilio, 2007).

Mas, estes fatos não foram suficientes para explicar o efeito da difração. Fresnel em 1816 impôs regras sobre a fase e a amplitude de ondas secundárias, justificando assim, ambos os comportamentos, a da linearidade da propagação e as das propriedades da luz como uma onda, passando assim a ser conhecida como o princípio de Huygens-Fresnel. Conforme citados pelos autores da apostila da disciplina de Física Experimental IV da USP (FAP-214, 2006):

O princípio de Huygens-Fresnel diz que qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária. A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo, é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases (FAP-214, 2006, p. 2).

Os cientistas deste século defendiam ideias distintas, Isaac Newton defendia a teoria corpuscular da luz e Christiaan Huygens defendia a teoria ondulatória da luz. Esses pensamentos distintos sobre a dualidade da luz, também era questionado com relação aos Raios X, questionavam se o mesmo era constituído de partículas ou apenas energia.

Então, em 1905, Einstein “vê” a luz composta por partículas denominadas de fótons para explicar o Efeito Fotoelétrico. Os fótons são minúsculas partículas elementares que possuem energia e são mediadoras do efeito fotoelétrico. Suas características são: partícula não massiva, não possui carga, e viaja com a velocidade da luz (c).

No efeito fotoelétrico os elétrons são emitidos de uma superfície metálica quando exposto por uma radiação eletromagnética alta, como a UV. No caso, é considerada a energia da radiação incidente, isto é a energia do fóton, como:

$$E = h\nu . \quad [B.4]$$

A Equação [B.4] nos informa que E , a energia do fóton, é proporcional a ν a frequência do fóton. Sendo a constante de proporcionalidade h a constante de Planck.

Logo, os estudos da difração da luz com a matéria em nível atômico permitiram descrever os princípios da Mecânica Quântica. No caso da difração dos Raios X eles são mais difíceis de serem observados porque apresentam comprimentos de onda muito menores, variam de 1 a 100 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$), ou seja, da mesma ordem de grandeza das distâncias interatômicas.

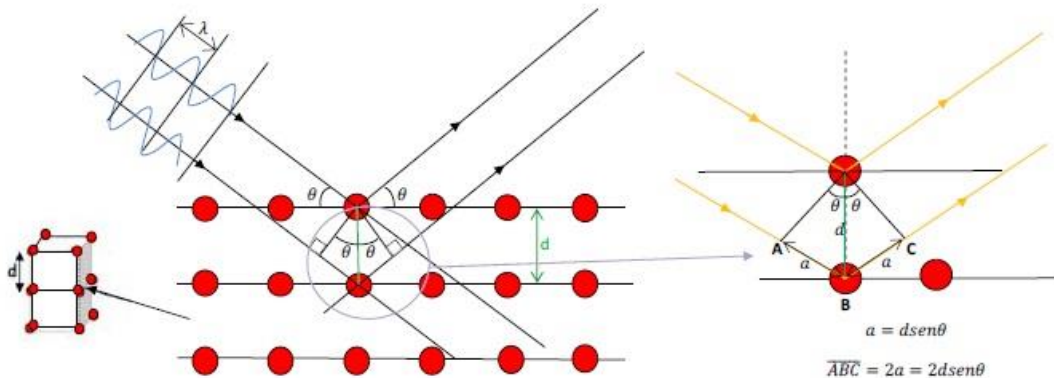
Max von Laue em 1912 concebeu a possibilidade de realizar difração de Raios X, utilizando uma estrutura cristalina como rede de difração tridimensional (cristalografia). As primeiras experiências foram realizadas por dois alunos de Laue, Walter Friedrich e Paul Knipping que fizeram um feixe de Raios X atravessar um cristal, resultando no fenômeno de interferência igual ao da Luz, assim concluíram que os Raios X eram ondas eletromagnéticas. Laue foi laureado³⁶ com o prêmio Nobel de Física, por ter descoberto o fenômeno da difração de Raios X em cristais no ano de 1914.

Logo depois, William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg demonstraram a relação que passou a ser conhecida como lei de Bragg, fundamental para o estudo de estruturas cristalinas com o uso da difração de Raios X.

Esse processo de difração ocorre quando a radiação eletromagnética de comprimento de onda comparado à distância entre dois planos de átomos é refletida specularmente por planos consecutivos. Conforme apresentado na Figura B.5 (b), um feixe de Raios X incide sobre um conjunto de planos cristalinos, cuja distância interplanar é d (representado na Figura B.5 (a) em uma rede cúbica). A diferença do caminho óptico entre os feixes é dada por $2 d \sin \theta$ obtido em destaque em na Figura B.5 (c).

³⁶ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Max_von_Laue>.

Figura B.5 – Ilustração do Modelo de Bragg sendo representado em duas dimensões, λ indica o comprimento de onda da onda incidente/refletida, θ o ângulo da onda incidente com o plano, que é igual ao da onda refletida, d a distância entre planos, em destaque, mostrada em uma rede cúbica, bem como a obtenção de termo $d \sin \theta$ que é a diferença do caminho óptico.



Fonte: adaptado da Figura 03 da referência <<http://www.geocities.ws/raioxusp/aula2/aula2.html>>.

O ângulo de incidência θ é conhecido como ângulo de Bragg. Quando os máximos e mínimos de uma onda coincidem com os máximos e mínimos da outra dizemos que as ondas estão em fase, conforme indicado em azul na Figura B.5. Para que isso ocorra, a diferença de caminho óptico ($2 d \sin \theta$) da onda tem que ser um número inteiro. Dizemos que a Lei de Bragg é satisfeita de acordo com a Equação [B.5]

$$n\lambda = 2d \sin \theta, \quad [B.5]$$

em que λ é o comprimento de onda da radiação utilizada, e n é um número inteiro. Logo, quando a diferença entre seus caminhos ópticos for um número inteiro n , de comprimentos de onda λ , as ondas refletidas interferem entre si de forma construtiva (em fase) ou destrutivas (defasadas) e geram os padrões de difração que podem ser detectados ou registrados em um filme.

William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg foram laureados com o Nobel em Física no ano de 1915, pela Lei de Bragg, fundamental para o estudo de estruturas cristalinas com o uso da difração de Raios X. Sendo William, então com 25 anos de idade, o mais jovem cientista a receber tal prêmio³⁷ até os dias atuais.

No ano de 1920 ficou comprovado o comportamento corpuscular dos Raios X. A dualidade, no entanto, foi definitivamente estabelecida depois da experiência de Compton. Em 1923, Compton “visualiza”, em um jogo de bilhar, o comportamento dos fótons usando Raios X e uma amostra de grafite (Halliday, 2009). Arthur Holly Compton ganhou o Prêmio Nobel em Física de 1927, pelo trabalho chamado de efeito Compton que demonstra a natureza da partícula da radiação eletromagnética.

Em 1925, Louis Victor Pierre Raymond, 7º duque de Broglie³⁸, assim conhecido por Louis de Broglie, estendeu o caráter dual da luz para a matéria. Por representar um grande passo para a Física, de Broglie recebeu, em 1929, o Prêmio Nobel de Física. A proposta de de Broglie para a dualidade onda-partícula para a matéria se estende a toda matéria como: prótons, nêutrons, átomos, moléculas e não somente aos elétrons.

³⁷ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Lawrence_Bragg>.

³⁸ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie>.

Ele sugeriu a relação $\lambda = \frac{h}{p}$, sendo λ o chamado comprimento de onda de de Broglie e h é a constante de Planck e p o momento da partícula envolvida. Combinando assim, as equações de Planck (Eq. [B.4]) e de Einstein ($E = mc^2$), concluiu-se que "tudo o que é dotado de energia, vibra e há uma onda associada a qualquer coisa que tenha massa".

Portanto, o Princípio de De Broglie atribui um comprimento de onda de matéria para qualquer massa m com velocidade c , representada matematicamente por:

$$E = hv = mc^2 \quad [B.6]$$

Até o momento, apresentou-se as equações fundamentais do eletromagnetismo, que são as 4 equações de Maxwell e a força de Lorentz. Partindo de suas 4 equações, para o caso sem fonte (fonte distante), as equações da onda foram deduzidas. Mostrando assim que a radiação eletromagnética são ondas compostas de campos elétricos e magnéticos oscilando perpendicularmente entre si, denominadas de ondas eletromagnéticas. E, que no decorrer da história do eletromagnetismo por meios experimentais este fato foi verificado por Hertz, e que dentro do limite da radiação eletromagnética, esta possui diferentes tipos de radiação. Todos comprovados experimentalmente.

Como uma onda, e respeitando os fenômenos e propriedades de reflexão e refração, da óptica geométrica, analisou-se do ponto de vista clássico e via óptica física, o fenômeno da difração, no limite da luz visível, nos experimentos de fenda simples e dupla e para uma luz monocromática.

Posteriormente, apresentou-se o comportamento da dualidade partícula-onda e sua energia, abrangendo assim a difração por meio ondulatório da interação fóton-elétron. Assunto esse abordado em Física Moderna.

A seguir, apresentam-se os principais aspectos dos Raios X, desde a sua descoberta e aplicações que compreendemos ser motivadoras aos alunos e outras citadas por eles nos seminários.

B.2 Raios X: da descoberta às aplicações

Conforme apresentado, os Raios X são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda muito pequeno, que vão desde 0,01 até 10 nm e suas respectivas frequências na faixa de 3×10^{16} a 3×10^{19} Hz. Desde a sua descoberta, até os dias atuais, os Raios X estão em nosso cotidiano e nas áreas de pesquisas da Física. Desta forma apresenta-se a seguir como ocorreu a descoberta dos Raios X, e citam-se o que essa descoberta proporcionou no ramo da física, química e medicina.

B.2.1 Descoberta dos Raios X

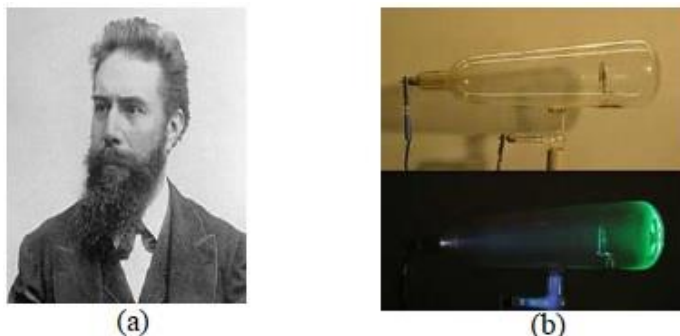
Sua descoberta e a primeira radiografia da história ocorreram em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen³⁹ (Figura B.6 (a)) (Röntgen, 1895; 1896; Glasser, 1993). Repetindo o experimento de Joseph John Thompson (1856-1940) em seu laboratório na Universidade de Wurzburg, Alemanha, Röntgen procurou detectar a radiação eletromagnética de alta frequência prevista por Heinrich Hertz

³⁹ Também escrita na literatura com a grafia: Roentgen e Röntgen.

(1857-1894).

Com um tubo de Crookes (Figura B.6 (b)), Röntgen tentou observar um estranho fenômeno descrito pelo físico Philipp Lenard (1862-1947).

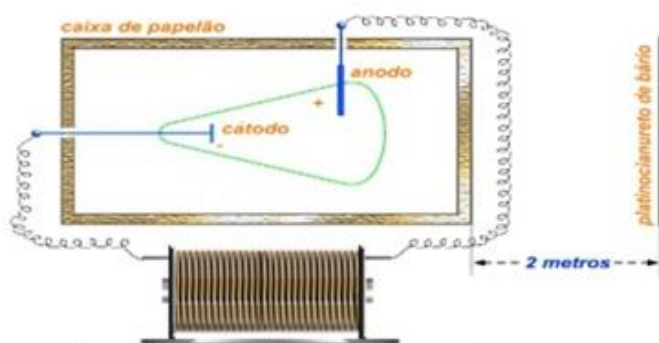
Figura B.6 – (a) Imagem fotográfica: (a) do físico e engenheiro mecânico alemão Wilhelm Conrad Röntgen. (b) do tubo de Crookes.



Fonte: (a) <<https://www.spr.org.br/a-spr/historia-da-radiologia>>. e (b) <https://pt.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Crookes>.

De acordo com a entrevista publicada em abril de 1896, na revista McClure's Magazine, Röntgen afirmou que estava trabalhando com um tubo de Crookes, coberto por uma caixa de papelão (Figura B.7) recoberta com uma substância luminescente, o platino cianeto de bário ($\text{BaPt}(\text{CN})_4$), quando ao passar uma corrente de alta voltagem pelo tubo, ele observou uma “linha preta” que se formou sobre o papel que o cobria.

Figura B.7 – Representação esquemática do aparato experimental construído por Röntgen. As cores são meramente ilustrativas.



Fonte: <<http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>>.

Essa linha preta descrita pelo cientista talvez seja uma sombra que se formou quando a substância começou a brilhar. Um efeito que só poderia ser produzido pela passagem de algum tipo de luz. Entretanto a luz não poderia estar saindo do tubo, pois ele havia sido coberto com uma caixa de papelão justamente para evitar a passagem da luz produzida pelo arco elétrico.

Röntgen investigou e percebeu que o efeito se originava do tubo de descarga. Aumentou gradualmente a distância entre o tubo e a tela de material fluorescente, até aproximadamente dois metros (conforme indicado na Figura B.7), o brilho continuava, o que o levou a concluir que não poderia ser os raios catódicos do tubo devido à distância. Ele havia descoberto algo novo. (Dam, 1896).

Com suas experiências, Röntgen descreveu algumas observações e propriedades da radiação que havia descoberto, dentre elas:

- que a produção de luminescência em certos materiais fluorescentes sensibilizava chapas fotográficas;
- invisível ao olho humano;
- parecia não sofrer reflexão, nem refração, nem polarização.

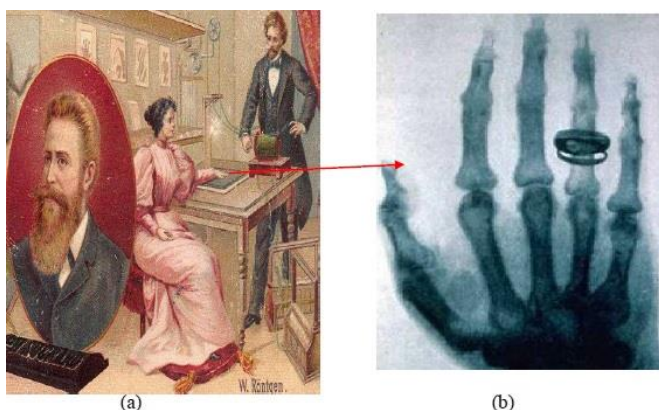
Por ser invisível e atravessar grandes espessuras de papel ou madeira, acreditava-se não se tratar de luz. Também não eram raios catódicos pois não sofriam desvio com ímãs e tinham alto poder de penetração.

Röntgen conclui que se tratava de um novo tipo de radiação invisível, com poder de penetração ainda desconhecido, capaz de atravessar materiais opacos à luz e a outras radiações conhecidas. A esses raios desconhecido deu o nome de Raios X.

Desta forma, ele começou a empregar placas radiográficas na revelação das imagens que conseguia com a exposição aos Raios X e passou a expor essas imagens.

Em 22 de dezembro de 1895, fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão esquerda da esposa Ana Bertha Ludwig, conforme ilustra a Figura B.8 (a), atingindo do outro lado com uma chapa fotográfica. Revelada a chapa viu a sombra dos ossos de Bertha, sendo essa a primeira radiografia conhecida de uma parte do corpo humano. Na imagem da radiografia observaram alguns metacarpos e ossos dos dedos (falanges) da mão, incluindo um anel, conforme Figura B.8 (b).

Figura B.8 – Imagem (a) de Röntgen realizando Raios X da mão esquerda de sua esposa Bertha. Em destaque, apresenta-se o busto de Wilhelm Röntgen, e em (b) do resultado da imagem por Raios X.



Fontes: (a) <<https://hypescience.com/27195-primeiros-raios-x/>> (b) <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Imagem-por-raio-X-da-mao-da-esposa-de-Roentgen-Roentgen-1895_fig5_263235771>

Pela descoberta dos Raios X, rendeu a Wilhelm Röntgen Conrad o primeiro prêmio Nobel de Física em 1901. Sendo muito questionado enfrentou a desconfiança de muitos cientistas da época, mas continuou dedicando-se ao estudo do mesmo. Ele respondeu aos críticos com uma nobre atitude: doou o dinheiro que ganhou com o Prêmio Nobel à Universidade de Wurzburg.

A descoberta dos Raios X e sua divulgação provocaram enorme repercussão no meio científico e fora dele; diversas histórias apareceram, algumas delas questionando a autoria da descoberta. Pois, impressões em chapas fotográficas e brilho de substâncias luminescentes já haviam sido observados por

outros cientistas antes de Röntgen, porém nenhum deles deu a devida importância ao fenômeno ou deixou para aprofundar as investigações em outro momento. Entre eles Johann Hittorf, Eugen Goldstein, Philipp Lenard e o interessante caso de William Crookes (inventor do tubo de Crookes) que notou algumas vezes que as chapas fotográficas ficavam veladas antes de ser exposta a luz, chegaram inclusive a reclamar com o fabricante (Nitske, 1971).

Também surgiram várias hipóteses para tentar explicar a natureza da nova radiação. Físicos e alguns jornais da época faziam confusão entre Raios X e os raios catódicos, usavam esses termos indistintamente. Os Raios catódicos, feixe de partículas de carga elétrica negativa, foram caracterizados dois anos após a descoberta dos Raios X, fruto do trabalho de Joseph John Thomson.

Em busca de uma explicação para tal fenômeno, diversas hipóteses foram levantadas:

- que os Raios X eram ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhantes à radiação ultravioleta;
- que esses raios seriam ondas eletromagnéticas longitudinais (hipótese levantada pelo próprio Röntgen);
- que a radiação X corresponderia a pulsos não periódicos de radiação eletromagnética;
- que os Raios X eram de natureza corpuscular, formados por raios catódicos modificados (neutros).

Depois de extensivos experimentos, a polêmica foi decidida favoravelmente à primeira hipótese: “Que os Raios X eram ondas eletromagnéticas transversais de pequeno comprimento de onda, semelhantes à radiação ultravioleta”.

Ainda neste ano de 1896, Antoine Henri Becquerel analisou o Urânio metálico, em sua pesquisa sobre a relação entre a emissão de Raios X e a luminescência, devido a descoberta de Röntgen. O que Becquerel verificou que o Urânio emitia algo que marcava chapas fotográficas além de ionizar o ar a sua volta.

Em 1898, entra em cena madame Marie Sklodowska Curie (polonesa, casada com o físico francês Pierre Curie), em sua tese de doutorado apresentada à Academia Francesa de Ciências, de que o Urânio emitia era radiação, tal qual o tório tinha o mesmo fenômeno físico. Essa “radiação” não era os Raios X e sim, outro tipo de radiação denominado de radiação gama, que é um tipo de radiação espontânea e natural.

Becquerel, Pierre e Marie Curie ganharam o Prêmio Nobel de Física de 1903. Em relação a essa descoberta é que esses materiais chamados radioisótopos são elementos que tem emissão de radiação espontânea (naturalmente), e não por geração em um tubo (“artificial”) como os Raios X da descoberta de Röntgen.

Marie Curie foi a responsável pela “teoria da radioatividade” - nomeada assim por ela - técnicas de isolar isótopos radioativos (método de descoberta do polônio, tório e rádio). O primeiro elemento químico de sua descoberta deu o nome de polônio em homenagem a seu país de origem, a Polônia. Em 1913 ganhou outro prêmio Nobel, desta vez em Química.

Entre a importância de suas pesquisas, além do método elétrico de quantificação de radiação e de sua identificação diante aos outros fenômenos, há a construção de unidades móveis de Raios X em sua dedicação na Primeira Guerra Mundial. Em que carregava testes de rádio (outra de sua descoberta na emissão de radiação) nos bolsos o que lhe provocou leucemia da qual faleceu em 1934, aos 66 anos de

idade.

Com o uso de forma errônea, os materiais radioativos estavam sendo utilizados por produtores de cosméticos, motivo da qual era também requisitada para sua divulgação.

Em 1926, com a fama das águas radioativas de Águas de Lindóia (SP), visitou o Brasil, na época o município chamava-se somente Lindóia (Viana, 2015).

B.2.2 Processo de Produção dos Raios X

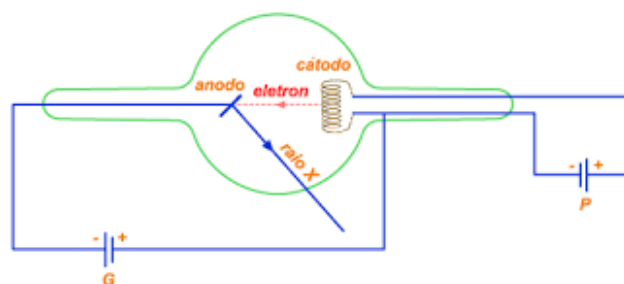
Como apresentado, os Raios X são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda muito pequeno, que vão desde 0,01 até 10 *nm* e suas respectivas frequências na faixa de 3×10^{16} a 3×10^{19} *Hz* com variação de energia de 100 *eV* até 100 *KeV*. Portanto, os Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico.

Os tubos de Raios X são, portanto, fontes artificiais e não naturais, a radiação gerada pelo mesmo é denominado de Radiação ionizante (Okuno, 2013), visto a sua capacidade de arrancar elétrons ao interagir com o material, e é um tipo de radiação bastante penetrante quando comparados com outros tipos de radiação (alfa e beta).

Assim, os equipamentos de Raios X, normalmente é constituído por tubos com gás à pressão de mais ou menos 0,001 *mmHg*. O tubo é esférico, e além do cátodo C e do ânodo A, possui um terceiro eletrôdo B, chamado alvo, colocado no centro da esfera.

O alvo B está ligado ao ânodo A, de maneira que ficam ao mesmo potencial. Este alvo combinado com o ânodo produz um campo elétrico que encurva a trajetória dos elétrons e faz com que a maioria dos elétrons encontre o alvo perpendicularmente, conforme representado na Figura B.9. A diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo nestes tubos é de 30 *K* a 50 *KV*.

Figura B.9 – Representação esquemática de um tubo a gás utilizado na produção de Raios X que consiste de uma ampola de vidro ou metal, a vácuo, com um filamento de tungstênio em uma extremidade, denominado cátodo, e um alvo de metal na outra extremidade, denominado ânodo.



Fonte: Instituto de Física – Universidade de São Paulo disponível em <<http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>>.

Etapas para o processo de emissão de Raios X:

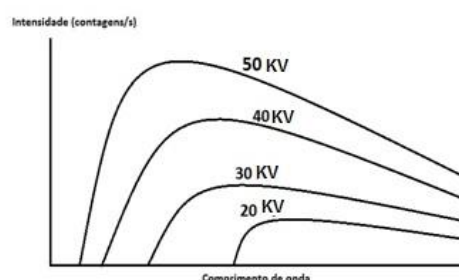
- I. Emissão termoiônica - o cátodo é aquecido e, essa energia térmica é capaz de liberar elétrons;
- II. Essa nuvem eletrônica liberada é acelerada em direção ao ânodo, devido à aplicação de uma diferença de potencial (*KV*) formando uma corrente (*mA*). O tempo de duração desta aplicação multiplicado pela corrente é chamada de produto corrente-tempo (*mA s*);
- III. Emissão de Raios X:

- iii.a - Se chocarem com o ânodo, os elétrons penetram no material e passam muito próximo dos núcleos dos átomos, causando uma desaceleração, pois faz com que estes elétrons percam energia que é emitida em forma de fótons de Raios X. Processo esse conhecido por *Bremsstrahlung* ou radiação de freamento (ou frenamento).
- iii b - Os elétrons podem também colidir com elétrons orbitais dos átomos do material do ânodo e retirá-los, caso a energia cinética destes seja maior ou igual à energia dos elétrons no átomo. Ao ser removido do átomo, o elétron deixa uma vacância naquela órbita. Isso faz com que elétrons de camadas mais externas ocupem essa vacância. Como em órbitas mais internas há uma menor energia de ligação, o excesso é emitido em forma de fótons de Raios X. Processo denominado de Raios X característico.
- iv. Depois de formados, os Raios X saem do tubo passando através de uma janela de berílio (Be) e passam por um filtro que pode ser de molibdênio (Mo), ródio (Rh) ou tungstênio (W), os quais absorvem os fótons de Raios X indesejáveis para a imagem. Atualmente, algumas combinações de alvo e filtro são comuns: Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh e W/Al. Espectros de Raios X produzidos por um alvo de molibdênio (Mo) e um de tungstênio (W). O alvo de Mo produz fótons com energias mais baixas do que o de W, que melhora o contraste radiográfico.

Nos Raios X o espectro é um gráfico representado pela quantidade de Raios X incidente pela energia emitida. A unidade utilizada usualmente para a quantidade de Raios X é unidade arbitrária (*u. a.*) e indicada por *I* de intensidade, e para a energia é o quilovolts (*KV*), pois a faixa de energia utilizada em radiodiagnóstico está nesta ordem, tanto para Raios X de freamento quanto o Raios X característico; ou gráficos da Intensidade de Raios X (*u. a.*) versus comprimento de onda (\AA), para várias faixas de energia em (*KV*).

Na Figura B.10 apresenta-se um gráfico da Intensidade de Raios X (contagens por segundo) versus comprimento de onda (λ), para várias diferenças de potenciais (ddps), indicando o comportamento dos espectros obtidos para um ânodo de tungstênio. Observe que todas as curvas têm em comum o fato de que há um comprimento de onda máximo variável (menor para maiores ddps) e em todas elas um mínimo, abaixo do qual não se observa qualquer radiação de Raios X. A diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo, usados para acelerar o feixe de elétrons são indicados acima da curva correspondente (Javan, 2013).

Figura B.10 – Representações dos comportamentos gráficos dos espectros contínuos utilizando um ânodo de tungstênio de acordo com a ddp em quilovolt (KV). O espectro contínuo é uma curva da intensidade em contagens por segundo, versus comprimento de onda (λ) dos Raios X.



Fonte: Adaptado de <<https://tecnicoderadiologia.blogspot.com/2013/04/resumo-producao-de-raio-x.html>>

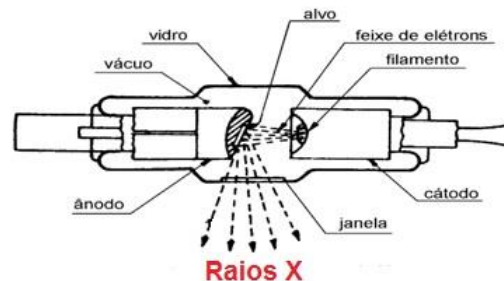
Segundo Santos (2002):

O espectro contínuo é simplesmente uma curva de contagens por segundo (intensidade), *versus* comprimento de onda (λ) dos Raios X, ou seja, Intensidade *versus* λ . Conforme foi proposto por Einstein, um fóton de radiação, com frequência f , transporta uma energia $hf = \frac{hc}{\lambda}$, onde λ é o comprimento de onda da radiação (Santos, C. A, 2002. p 1).

Portanto, os Raios X emitidos deverão ter energia máxima igual à energia do elétron incidente, ou seja, o espectro contínuo é limitado pelo comprimento de onda associado à energia máxima do elétron.

Atualmente os Raios X são produzidos por tubo de *Coolidge* (Figura B.11) estruturado por um tubo oco com vácuo e uma placa de metal geradora de fluxo de elétrons de alta energia liberado a partir da incandescência da placa (cátodo).

Figura B.11 – Desenho esquemático do tubo de *Coolidge* para emissão de Raios X. As partes constituintes deste aparato estão indicadas no próprio desenho, bem como, a representação dos Raios X sendo produzidos.



Fonte: adaptado da referência: <http://1.bp.blogspot.com/2EpQCHZdZac/UTz6_dDFLHI/AAAAAAAAAEk/EHd2_Dd9kSM/s1600/tubo+de+coolidge.png>

Como já citado os Raios X podem ocorrer: por decaimento (os Raios X característicos) ou por interações de partículas carregadas (radiação) com a matéria (Raios X de freamento). As radiações ou ondas eletromagnéticas são de altas energias oriundas de transições eletrônicas de níveis e subníveis mais internos no átomo.

Os Raios X de freamento é o utilizado para gerar Raios X para uso médico e industrial, pois depende exclusivamente da energia das partículas incidentes com a matéria, gerando desde centenas de KV até centenas de MV, conforme a aplicação desejada. Por exemplo, a radiografia oral ocorre com uma diferença de potencial entre 50 a 90 KV, já a nível industrial ocorre entre 150 – 500 KV.

B.2.3 Interação dos Raios X com a Matéria

Os Raios X interagem, em nível atômico, com a matéria de quatro formas diferentes, dependendo de sua energia (energia do fóton incidente) e da composição do material. São elas (Javan, 2013):

- a) **Absorção Fotoelétrica ou efeito fotoelétrico:** é aquela na qual o fóton de Raios X é absorvido e, toda sua energia é transferida para um elétron. Quando energia do fóton é um pouco maior que a energia de ligação dos elétrons da camada mais interna tem maior probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico. Acontece principalmente com Raios X moles.

Devido a esse efeito, observa-se o contraste do osso aparecer mais claro do que a região a sua volta, pelo pulmão ser mais escuro do que o material a sua volta, pois o efeito é inversamente proporcional a energia ao cubo, e diretamente proporcional ao cubo do número atômico do material absorvedor.

- b) Espalhamento Compton (EC):** é uma forma de espalhamento inelástico, em que o fóton, do Raios X, incidente ao interagir com a camada mais externa de um átomo transfere a energia para o elétron ejetando-o (efeito Compton), e a outra parte da energia será a radiação espalhada que têm um comprimento de onda maior do que o da radiação incidente. Esta parte espalhada de Raios X diminui a resolução das imagens radiográficas. A probabilidade do EC ocorrer é inversamente proporcional a sua energia ($1/E$), e é praticamente independente do número atômico do material absorvedor. O EC é o mecanismo predominante em Raios X duros na geração de imagens médicas.
- c) Espalhamento não modificado ou coerente:** observado primeiramente por Thomson é um espalhamento puro, sendo esta uma interação de pura dispersão, sem deposição de energia no material. Nesse processo, o fóton interage com os elétrons dos orbitais atômicos da matéria de forma que enquanto os elétrons oscilam por um período de tempo muito curto outro fóton de mesma energia é liberado e se propaga em direções diferentes. Como esse tipo de interação é mais provável para fótons de energia baixa, não são importantes para a radiologia diagnóstica. A sua maior probabilidade de ocorrer é para fótons incidentes com energia menores que 10 KeV . (Portal da Educação, 2018 e Hipermídia, 2018):
- d) Produção de par – absorção pura –** Este tipo de interação ocorre somente quando o fóton incidente de Raios X teve uma energia maior que $1,02\text{ MeV}$. Tal que, quando se aproxima do núcleo atômico fica sob influência da força do campo nuclear, e o fóton incidente desaparece, dando origem a duas partículas carregadas: o pósitron (positivo) e o elétron (negativo). O pósitron irá se combinar com um elétron livre do meio, e irá gerar dois fótons com energia de $0,512\text{ MeV}$, denominada de radiação de aniquilação. Sendo esse o processo usado em tomografias por emissão de pósitrons. Já o elétron irá perder sua energia por meio de excitação ou ionização (Hipermídia, 2018).

Os Raios-X são capazes de penetrar em alguns materiais, dependendo dos elementos que constituem esse material. A essa propriedade chamamos de absorção. Na escolha dos materiais ou objetos a serem submetidos a imagem de Raios X, deve-se ficar atento a sua classificação, os mesmos podem ser transparentes, translúcidos e opacos:

- Os materiais transparentes permitem a passagem da luz, sendo assim, a luz percorre trajetórias bem definidas.
- Os materiais translúcidos permitem que a luz passe através deles difusamente, uma trajetória não regular, então não permitem uma visão completa e nítida da imagem.
- Os materiais opacos não permitem a propagação da luz, eles absorvem (convertem em energia térmica) e refletem essa luz.

A capacidade de penetração é o que difere os materiais uns dos outros.

Röntgen verificou que os Raios X atravessam materiais de baixa densidade e são absorvidos por

materiais de alta densidade. Como exemplo, podemos citar os músculos do corpo humano, quando o indivíduo realiza exames de Raios X os músculos não aparecem na imagem, no entanto, os ossos, com alta densidade são observados nitidamente.

Há alguns fatores que afetam na absorção de Raios X. De acordo com Dmitruk (2016) são eles:

- a) Espessura do absorvedor:** quanto maior a espessura de um material, ou seja, quanto mais grosso, maior a absorção de Raios X.
- b) Densidade do absorvedor:** como se sabe a densidade diz respeito a massa por unidade de volume, assim um material de maior densidade é mais absorvedor que um de menor densidade.
- c) Número atômico do absorvente:** constitui-se num dos principais fatores que afetam as características de absorção dos Raios X. Essa absorção depende do número atômico e está relacionada a energia do feixe Raios X incidente.
- d) Meio de contraste:** constituem-se de substâncias que diferem em densidade e em número atômico dos tecidos animais.
- e) Kilovoltagem:** os Raios X produzidos por baixa Kilovoltagem possuem um maior comprimento de onda o que por sua vez os torna menos penetrantes que aqueles produzidos com alta Kilovoltagem devido à diferença dos seus comprimentos de onda. Quanto maior a voltagem, menor o comprimento de onda e vice-versa. Conforme apresentado na Figura B.10 (nota da autora).
- f) Filtração:** constitui-se numa forma de se remover do feixe de Raios X aqueles raios que possuem menor energia e por conseqüência, menos penetrantes, utilizando-se dos conceitos de absorção. Esse processo é também denominado **endurecimento do feixe**.
- g) Composição do alvo:** a maioria dos tubos de Raios X possuem um alvo de Tungstênio por apresentar as seguintes propriedades: o maior ponto de fusão entre os metais e alta densidade. Podem ser constituídos também de uma liga de Rênio (Re) e Tungstênio (W) e para o caso de algumas aplicações especiais como é o caso da mamografia, o alvo é de Molibdênio.
(Dmitruk, 2016, p.1).

Portanto, os Raios X possuem propriedades específicas, segundo Tipler (1999), são elas:

- a) Os Raios X possuem todas as propriedades gerais de ondas eletromagnéticas: sofrem reflexão, refração, interferência, difração e polarização;
- b) Propagam-se em linha reta, com velocidade igual à da luz;
- c) Tornam fluorescentes muitos corpos sobre os quais incidem, como por exemplo, platino cianureto de bário (e por esta propriedade que permitiu sua descoberta).
- d) Provocam ação química em certas substâncias. Eles impressionam chapas fotográficas mesmo quando elas estão protegidas por superfícies que a luz não atravessa, como por exemplo, caixas de papelão, ou papel preto;
- e) Atravessam grandes espessuras de materiais. A facilidade maior ou menor com que os Raios X atravessam as substâncias depende do comprimento de onda dos Raios X, da espessura da substância e do seu peso atômico. Os Raios X de menor comprimento de onda, da ordem de $0,01 \text{ \AA}$, têm maior facilidade para penetrar nos corpos: são chamados Raios X duros. Os de maior comprimento de onda, da ordem de 1 \AA , penetram menos nos corpos: são chamados Raios X moles. Atravessam com grande facilidade as substâncias de pequeno peso atômico, como por exemplo, os elementos fundamentais dos corpos orgânicos, carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio. As substâncias “densas” são dificilmente atravessadas. Assim, o chumbo é usado frequentemente para barrar os Raios X;
- f) Ionizam as moléculas dos gases por onde passam;

- g) Não tem carga elétrica com isso não sofrem desvios por campo elétrico e nem por campo magnético.

B.2.4 Aplicações dos Raios X

Esta subseção está dedicada à apresentação da aplicação quanto aos aspectos gerais e uma aplicação específica que é a radiação Síncrotron.

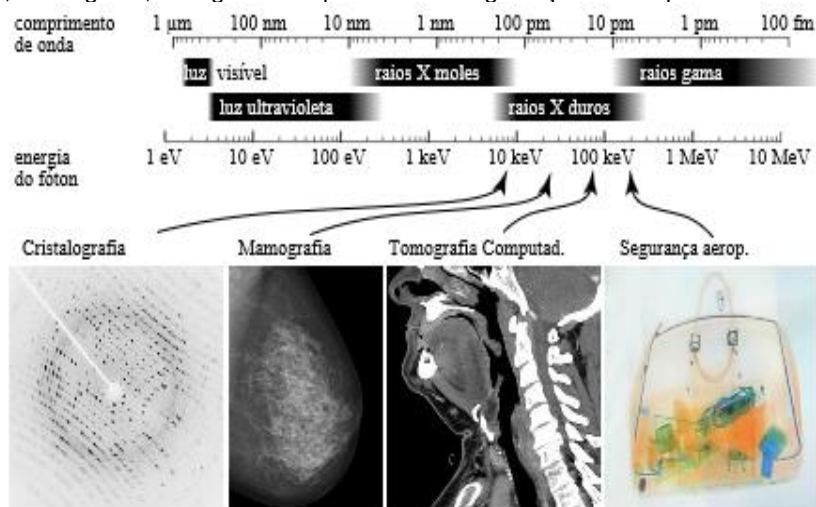
B.2.4.1 Aplicações Gerais

Em relação às energias dos Raios X, apresentou-se (subseção B.1.1) que os Raios X são radiações eletromagnéticas localizadas entre a radiação ultravioleta (UV) e os raios gama no espectro eletromagnético (Figura B.2). Normalmente, suas energias estão na faixa entre 100 eV (elétron-volt) e 100 KeV (quilo elétron-volt). Como por exemplo, nos Raios X de diagnóstico varia de 10 a 150 KeV, mas em algumas aplicações industriais e medicinais utilizam Raios X com energias da ordem de 1 MeV (mega elétron-volt). Quanto a capacidade de penetração dos Raios X nos materiais, estes são classificados em Raios X moles aos que possuem energias de até 5 KeV e os com energias maiores que esse valor são os chamados de Raios X duros. A referência, duros e moles é em relação a essa capacidade de penetração.

Essa radiação (Raios X duros) têm seu uso variado desde o ponto de vista de aplicação quanto científico, visto que possui comprimento de onda comparável ao tamanho dos átomos, apresentando uma energia muito grande a ponto de ocorrer ionização das moléculas além do seu grande poder de penetração.

Exemplos de aplicações desta faixa de Raios X são em: Cristalografia, mamografia, tomografia computacional, controle de bagagem em aeroportos, conforme indicado na Figura B.12.

Figura B.12 – Representação de um espectro eletromagnético e energia de penetração indicando dentro da faixa dos Raios X, os Raios X moles e os duros. E, exemplos de aplicações no cotidiano dos Raios X duros (alta energia), cristalografia, mamografia, tomografia computacional e segurança em aeroportos.



Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b7/X-ray_applications.svg/1000px-X-ray_applications.svg.png.

Logo, os Raios X possuem grande aplicação, pois é um tipo de radiação de alta energia, com

capacidade de penetrar em organismos vivos e atravessar tecidos de menor densidade. Ele é absorvido pelas partes mais densas do corpo, como os ossos e os dentes. Em razão dessa característica, o principal uso dos Raios X é em radiografias para diagnóstico médico.

Essa capacidade de penetrar nos nossos tecidos faz dos Raios X um perigo em potencial, pois a exposição prolongada a eles pode levar à formação de células cancerígenas. Por isso, pessoas que trabalham com radiografias usam aventais de chumbo (que não permitem que essas radiações atravessem) e se mantêm longe no momento do disparo atrás de uma placa de chumbo.

Ele também é usado industrialmente, para observar a estrutura interna de objetos, procurando ver se há falhas em sua estrutura, até mesmo como controle de qualidade.

Na Geologia, uma das suas aplicações é na investigação geológica, por intermédio da difração destas radiações, é possível analisar, de forma não destrutiva, a estrutura interna dos minerais, ao registrar como os seus cristais interagem com a radiação.

Em aeroportos e portos os Raios X são aplicados nas bagagens e *containers* a fim de analisar os objetos presentes, identificando armas, drogas ou outros itens não permitidos.

Essa radiação é medida por duas camadas de receptores: a radiação fraca (bloqueada por algum objeto) é captada por ela, mas não passa do filtro de cobre que separa as camadas, mas a radiação forte atravessa o filtro de cobre e chega aos receptores da segunda camada. O computador interpreta os dados recebidos pelos receptores de 1 e 2. Se a radiação não chegou nem à camada 1, significa que há um metal na mala. Se chegou à camada 1, mas não à 2, há um material misto. Se chegou à camada 2, é orgânico. O computador utiliza cores para distinguir os objetos (Figura B.13), de acordo com o material.

Figura B.13 – Imagem demonstrando o uso de Raios X em aeroportos. À esquerda se pode observar um operador verificando os pertences no interior das malas que passam pelo aparelho. À direita destacamos o efeito dos Raios X em uma mala de viagens. Esta é uma prática comum nos aeroportos de modo que não sejam despachados produtos ilegais.



Fonte: <https://airway.com.br/wp-content/uploads/2015/12/raiox_aerosol_02-750x500.jpg>

Na área de alimentos, os Raios X são usados para gerenciar riscos e falhas: no controle de qualidade; verificar vazios ou bolhas de gás; identificar componentes fora do tamanho, faltantes ou até mesmo ausência; conferir se há presença de rachaduras ou fissuras no produto e ou embalagem; identificar aglomerações em produtos em pó; conservação de alimentos com a irradiação a indústria consegue aumentar o tempo de conservação.

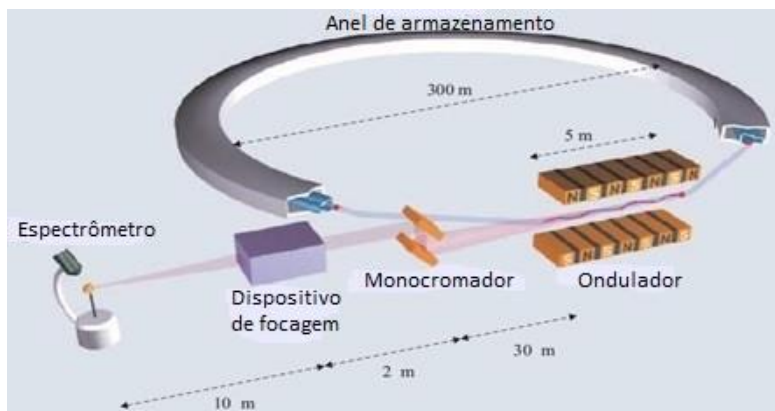
Portanto, os Raios X, desde sua descoberta, até os dias atuais, têm grande aplicação e continuam como tema de estudos e pesquisas na Física.

B.2.4.2 Aplicação em Pesquisa na Física - Radiação Síncrotron⁴⁰

Há também estudos e pesquisas, que envolve a produção das radiações do tipo Ultra Violeta (UV), Infra Vermelho (IV) e a de Raios X, que são denominados de Radiação Síncrotron ou Luz Síncrotron,

Esse termo, radiação Síncrotron é usado como um termo genérico para descrever radiação de partículas carregadas viajando em velocidades ultra relativísticas em um campo magnético, que as forçam a viajar ao longo de um caminho com curvas, sempre sincronizado. O sistema injetor é o que vai produzir o feixe de elétrons e acelerá-los até atingir uma determinada energia necessária para a etapa principal, que é o anel de armazenamento (Figura B.14).

Figura B.14 – Ilustração (tradução da autora) do processo de obtenção de Raios X - Anel de Armazenamento Síncrotron.



Fonte: Apud *Espectroscopia de raios X* – UFPR <http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf>

Nesta figura temos a representação de um acelerador de partículas, no qual as partículas injetadas são medidas a partir do espectrômetro⁴¹ e direcionada ao monocromador (equipamento que seleciona comprimentos de ondas distintos) por meio de um dispositivo de foco. Após passar pelo monocromador o feixe é direcionado para um conjunto de ímãs, chamado de ondulador, cuja função é desviar a partícula do caminho inicial para fazer as curvas do anel circular (de armazenamento), tudo isso com ação de um campo magnético. Após inseridas nesse anel as partículas viajam e possuem suas trajetórias delimitadas, graças a ação de uma câmara a vácuo. Há algumas cavidades de radiofrequência que são usadas para repor a energia perdida pelas partículas e também usadas para acelerar os feixes quando necessários.

A radiação Síncrotron é então produzida em anéis de armazenamento (Figura B.14) onde os elétrons e os pósitrons são mantidos circulando com energia constante.

Portanto, em um acelerador do tipo Síncrotron, o feixe de partículas carregadas é guiado em órbitas circulares por um conjunto de eletroímãs. O campo magnético produzido pelos eletroímãs age de forma

⁴⁰ Este texto é parte do texto utilizado como material didático da UFPR, disponível no site: <http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf>, do site do LNS_Sirius_Campinas, disponível em: <<https://www.lnls.cnpe.br/sirius/introducao-a-maquina/>>, do LNS_Campinas disponível no site: <https://www.lnls.cnpe.br/grupos/fac/> e LNLS_Projeto Sirius, 2014.

⁴¹ Instrumento óptico utilizado para medir as propriedades da luz.

sincronizada sobre as partículas, que a cada volta possuem velocidades e, portanto, energias cada vez maiores. Desta ação sincronizada vem o nome acelerador Síncrotron.

A luz Síncrotron pode penetrar a matéria e revelar características de sua estrutura molecular e atômica. Por apresentar um amplo espectro, essa radiação permite aos pesquisadores utilizar os comprimentos de onda mais adequados para o experimento que desejarem executar. O alto fluxo e o alto brilho também proporcionam a realização de experimentos mais rápidos e a investigação de detalhes cada vez menores, com resolução espacial de nanômetros.

Está situado no Brasil o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron⁴² (LNLS) ele é responsável pela operação das duas fontes de luz Síncrotron da América Latina. O LNLS começou a ser projetado em 1987 e foi inaugurado após 10 anos em 1997. A maior parte dos componentes presentes no acelerador do LNLS foi fabricada no próprio laboratório, o que possibilitou que a atual fonte fosse construída com um índice de nacionalização de 85%. Em 1º de julho de 1997 a fonte de luz Síncrotron UVX é aberta à comunidade de ciência e tecnologia. Pouco antes, em abril do mesmo ano, havia sido aberta a primeira chamada para que os pesquisadores desenvolvessem suas pesquisas no Síncrotron.

Na época, a fonte contava com sete linhas de luz: estrutura fina da absorção de Raios X (XAS), espectroscopia de Raios X moles (SXS), espalhamento de Raios X a baixos ângulos (SAXS), difração de Raios X (DRX), cristalografia de proteínas (PCR) e duas linhas de espectroscopia no ultravioleta.

O outro acelerador, também administrado pelo LNLS é o SIRIUS⁴³ (Figura B.15), inaugurado em 14/12/2018. O início de sua construção foi em 2014. Essa geração de radiação necessita de dois aceleradores, sendo um o sistema injetor: um linear (Linac – atua de forma pulsada – 2 vezes/s) e um Síncrotron injetor (*booster*) - recebe o pulso de corrente do Linac, e acelera até atingir a energia final, conduzindo via a linha de transporte até o anel de armazenamento. Este foi projetado para operar na energia de 3 GeV. Imagem e texto detalhado de seu funcionamento pode ser visto na referência: Projeto Sirius (2014, p. 22).

Figura B.15 – Imagem fotográfica do SIRIUS. O acelerador de partículas possui 518 m de circunferência e emitância de 0,27 nm – rad.



Fonte: ALS-NIELSEN e McMORROW, 2011 apud Espectroscopia de Raios X – UFPR <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_\(acelerador_de_part%C3%ADculas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_(acelerador_de_part%C3%ADculas))>

Ambos os aceleradores, LNLS e o SIRIUS, estão situados no município de Campinas – SP.

⁴² O LNLS é uma instituição brasileira de pesquisa em física, biologia estrutural e nanotecnologia desenvolvendo projetos nas áreas de Física, Química, Engenharia, Meio Ambiente e Ciências da Vida, localizado na cidade de Campinas – SP.

⁴³ Fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_\(acelerador_de_part%C3%ADculas\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Sirius_(acelerador_de_part%C3%ADculas))>; O nome SIRIUS é em “homenagem” a estrela mais brilhante SIRIUS da nossa constelação. Website: <www.lnls.cnpem.br/sirius>

REFERÊNCIAS

ALS-NIELSEN J. e McMORROW D., *Elements of Modern X-ray Physics*, Second Edition, Wiley Press, 2011.

BASSALO, J. M. F. Nascimentos da Física: Idade Renascentista (4-95-2). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 17, n. 4, p. 284 – 295, dezembro, 1995. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/vol17a36.pdf>>. Acesso em 24/04/2020.

DAM, H. J. W.. "The New Marvel in Photography." *The McClure's Magazine* VI nº 5: 403-15, 1896 <<http://www.gutenberg.org/files/14663/14663-h/14663-h.htm>>. Acesso em 20/07/2019.

de OLIVEIRA, M. A. F., *Utilizando um fenômeno físico para medir o diâmetro de um fio de cabelo*, 60, 38 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016. Disponível em: <<http://www.dfi.uem.br/dissertacao/mnpef/uem.php>> . Acesso em 07/09/2019.

DMITRUK, P. P. Física Radiológica: Fatores que Influenciam na Produção dos Raios X 2016 p.1 disponível em :<<https://pt.linkedin.com/pulse/fisica-radiologica-fatores-que-influenciam-na-dos-x-phillip>>. Acesso em 07/03/ 2020.

Espectroscopia de raios X – UFPR <http://fisica.ufpr.br/grad/espectroscopia_rx.pdf>. Acesso em 10/10/2019.

FAP-214_2006, Difração, 2006. Disponível em <<https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=2618098>>. Acesso em 28/02/2020.

GLASSER, O. *William Conrad Roentgen and the Early Story of the Roentgen Rays*, Charles C. Thomas: Springfield. 1934, 1993. Disponível no site: <<https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=5GJs4tyb7wEC&oi=fnd&pg=PA1&ots=97tZRcsfj&sig=m2szSQUJ2hNdaHu2fclECWosPpQ&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>>.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentos de Física – Vol. 4, Ótica e Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC. 8. ed. 2009;

HIPERMÍDIA, Espalhamento Coerente, 2018. Disponível em: <<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/>>. Acesso em 19/05/2020.

HIPERMÍDIA, Produção de Pares, 2018. Disponível em: <<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/>>. Acesso em 19/05/2020.

JAVAN, *Produção de Raio X*, 2013. Disponível no site: <<https://tecnicoderadiologia.blogspot.com/2013/04/resumo-producao-de-raio-x.html>>, acesso em 20/05/2018.

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS). Disponível em <<https://www.lnls.cnpem.br/>> acesso em 20/05/2018.

LNLS_Sincrotron, «Cap. 3». In: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Projeto Sirius* (pdf). A nova fonte de luz síncrotron brasileira. Campinas: [s.n.] p. 28, 2014. Disponível no site: <http://www.lnls.cnpem.br/wp-content/uploads/2016/08/Livro-do-Projeto-Sirius-2014.pdf>. Acesso em 05/03/2020.

MACHADO, K. D., Teoria do Eletromagnetismo vol. 3..281 páginas, Editora: UEPG, 2006.

NITSKE, W. R.. *The Life of Wilhelm Conrad Röntgen: Discoverer of X Ray*. Arizona: Tucson: The University of Arizona Press,. 154. 1971.

NUSSENZEIG, H. M. *Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica*. São Paulo: Edgard Blücher. Vol.4, 2002;

O Espectro Eletromagnético, regiões do espectro. Instituto de Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/intro.htm>> acesso em 10/05/2019.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M.. *Efeitos biológicos das radiações ionizantes. Acidente Radiológico de Goiânia*. São Paulo: Estud. av. vol.27 nº.77 , 2013;

PORTAL DA EDUCAÇÃO, *Interação de raios X com a matéria*, disponível no site: <https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/interacao-de-raios-x-com-a-materia/35827>> acesso em 20/05/2018.

REITZ, J. R., MILFORD, F. J.,CHRISTY, R. W., *Fundamentos da Teoria Eletromagnética*, Editora Campus, 516 páginas, 1982;

RÖNTGEN, W. C.. *Annalen der Physik und Chemie*.64, 1, 1895.

RÖNTGEN, W. C.; *Rev. Gen. Sci.*, 7, 59, 1896.

SANTOS,C. A. (2002) *Conceitos Elementares de Raios X*. Instituto de Física. *Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)*. p1 disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosx/rxconc.html>> acesso em 10 de outubro de 2019.

TIPLER, P. A. (1999). *Física*, Vol. 03, 4ª. Ed. New York, LTC, 1999.

VIANA, M. H. *Águas de Lindóia e a Celebração da Química*, 2015. Disponível em: <<http://www.s bq.org.br/38ra/noticia/aguas-de-lindoia-e-celebracao-da-quimica>>

ZILIO, S. C. *Difração*, 2007, disponível em:<<http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/difracao/huygens/>>. Acesso em 10/02/2020.
