

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



**USO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL MÓVEL  
ALIADO À METODOLOGIA ATIVA “SALA DE AULA  
INVERTIDA” NO PROCESSO DE ENSINO E  
APRENDIZAGEM DO EFEITO COMPTON**

**DANIELE SOCORRO RIBEIRO DA SILVA**

**Marabá – PA  
2022**

**DANIELE SOCORRO RIBEIRO DA SILVA**

**USO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL MÓVEL ALIADO À  
METODOLOGIA ATIVA “SALA DE AULA INVERTIDA” NO  
PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DO EFEITO COMPTON**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Prof. Dr. Mateus Gomes Lima

Coorientador:

Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester

**Marabá – PA  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará**  
**Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho**

---

S586u Silva, Daniele Socorro Ribeiro da  
    Uso de um simulador computacional móvel aliado à  
    Metodologia ativa “sala de aula invertida” no processo de ensino  
    e aprendizagem do efeito Compton / Daniele Socorro Ribeiro da  
    Silva. — 2022.  
    148 f. : il. color.

    Orientador(a): Mateus Gomes Lima; coorientador(a):  
    Rodrigo do Monte Gester.

    Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e  
    Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Mestrado  
    Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Marabá,  
    2022.

    1. Física nuclear. 2. Espalhamento (Física). 3.  
    Prática de ensino. 4. Videoteipes na educação. 5. Física –  
    Estudo e Ensino (Ensino médio) – Bragança (PA). 6.  
    Metodologia de Ensino. I. Lima, Mateus Gomes, orient. II.  
    Gester, Rodrigo do Monte, coorient. III. Título.

CDD: 22. ed.: 539

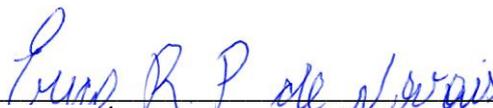
**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA**  
**MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata da apresentação e defesa de dissertação de Mestrado intitulada: “USO DE UM SIMULADOR COMPUTACIONAL MÓVEL ALIADO À METODOLOGIA ATIVA “SALA DE AULA INVERTIDA” NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DO EFEITO COMPTON NUMA ABORDAGEM CTSA” para concessão do grau de Mestre em Ensino de Física, realizada às 14:00 horas do dia **28 de janeiro de 2022**, de forma remota, via Google Meet, link da defesa: <https://meet.google.com/nst-nww0-cmk>. A dissertação foi apresentada durante 50 minutos pela mestranda: **Daniele Socorro Ribeiro da Silva**, diante da banca examinadora aprovada pela Sociedade Brasileira de Física, assim constituída, membros: Prof. Dr. Mateus Gomes Lima (Orientador/Presidente), Prof. Dr. Érico Raimundo Pereira de Novais (Membro Interno) e Prof. Dr. Jônatas Barros e Barros (Membro Externo). Em seguida, a mestranda foi submetida à arguição, tendo demonstrado suficiência de conhecimento no tema objeto da dissertação, havendo à banca examinadora decidido pela **Aprovação** da dissertação. Para constar, foram lavrados os termos da presente ata, que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e da mestranda.



Prof. Dr. Mateus Gomes Lima  
(Unifesspa - Orientador/Presidente)



Prof. Dr. Érico Raimundo Pereira de Novais  
(Unifesspa - Membro Interno)



Prof. Dr. Jônatas Barros e Barros  
(UFPA - Membro Externo)



Daniele Socorro Ribeiro da Silva (Mestranda)

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista”  
(Aldo Novak)

Dedico esta dissertação aos meus pais e ao meu marido, Rafael Pires, os quais sempre me apoiaram e incentivaram.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me guiar, guardar e conceder a realização deste sonho.

À minha família, em especial à minha mãe, pela eterna preocupação e incentivo.

Ao meu esposo, Rafael Pires, pelas palavras de incentivo, pela sua insistência nos momentos em que estive desanimada, por nunca me deixar desistir dos meus projetos, estando ao meu lado em todos os momentos.

À UNIFESSPA e ao MNPEF pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional.

Aos meus amigos do mestrado por trocarem suas experiências, em especial Luciana da Cruz, Claudio Alves e Álvaro, por estarmos sempre trocando ideias que nos fortaleceram na construção do conhecimento.

Aos meus amigos Dália Cristina, Thiago Vieira, Ricardo da Cunha pelo apoio recebido durante todo o meu percurso acadêmico.

Ao professor e orientador, Dr. Mateus Gomes Lima, pelo seu empenho e dedicação a este trabalho.

Ao professor e coorientador, Dr. Rodrigo do Monte Gester, pela sua contribuição na construção deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de Financiamento 001.

# **Uso de Um Simulador Computacional Móvel Aliado à Metodologia Ativa “Sala de Aula Invertida” no Processo de Ensino e Aprendizagem do Efeito Compton.**

**Daniele Socorro Ribeiro da Silva**

**Orientador:**

Prof. Dr. Mateus Gomes Lima

**Coorientador:**

Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós – Graduação da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Essa dissertação tem como objetivo propor o Ensino de Efeito Compton na Educação Básica, a partir das orientações da Metodologia Ativa “Sala de Aula Invertida” e do uso de um simulador computacional, mobilizado em aparelho móvel. Nesse sentido, considera-se a premissa de que o ensino de Física Moderna nas escolas passa por um momento delicado quanto aos efeitos de aprendizagem dos alunos, uma vez que se apresenta ainda demasiadamente abstrato aos discentes, o que não favorece uma aprendizagem mais concreta da física. A Fundamentação Teórica está alojada entre os estudos sobre Física Moderna, ensino de física e Metodologia Ativa. Entende-se que as interfaces mantidas entre tais correntes teóricas podem apresentar possibilidades consistentes às análises propostas nesse trabalho. A Metodologia da Pesquisa é caracterizada como uma abordagem quali-quantitativa, ao considerar que as intervenções de investigação originaram dados, os quais foram tabulados e transformados em porcentagens capazes de significar os impactos acarretados na rotina dos alunos, bem como no progresso cognitivo dos mesmos. A presente pesquisa foi desenvolvida com os alunos do Ensino Médio de escolas públicas, localizadas no município de Bragança, Estado do Pará. Como critérios para seleção dos sujeitos de pesquisa, optou-se por alunos da 3ª série do Ensino Técnico integrado ao Ensino Médio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, devidamente matriculados e assíduos nas aulas no modelo remoto. Os dados foram coletados por meio da aplicação de uma sequência didática sobre Física Moderna, aplicada aos discentes no decorrer de três encontros virtuais. Os dados revelam que a intervenção proposta gerou resultados positivos, pois os alunos ficaram satisfeitos com a proposta ativa de sala de aula invertida. Isso, por sua vez, aperfeiçoou habilidades de cognição e raciocínio nos alunos, ao passo que a tecnologia móvel ganhou lugar de instrumento mediador do conhecimento. Espera-se que essa pesquisa possa render desdobramentos futuros no contexto de investigação acadêmica, de maneira a colaborar constantemente com a educação brasileira e com um ensino de física proposto a partir de um olhar mais concreto.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Efeito Compton. Sala de Aula Invertida. Tecnologia Móvel.

# **Use of a Mobile Computational Simulator Allied to the Active Methodology “Inverted Classroom” in the Teaching and Learning Process of the Compton Effect.**

**Daniele Socorro Ribeiro da Silva**

**Advisor:**

Mateus Gomes Lima.

**Co-advisor:**

Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester

Master's Dissertation submitted to the Graduate Program of the Federal University of the South and Southeast of Pará (FUSSP) in the Professional Master's Degree in Physics Teaching, as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

This dissertation aims to propose the Teaching of the Compton Effect in Basic Education, based on the guidelines of the Active Methodology "Inverted Classroom" and the use of a computer simulator, mobilized on a mobile device. In this sense, it is considered the premise that the teaching of Modern Physics in schools is going through a delicate moment regarding the learning effects of students, since it is still too abstract for students, which does not favor a more concrete learning of physics. The Theoretical Foundation is housed between studies on Modern Physics, physics teaching and Active Methodology. It is understood that the interfaces maintained between such theoretical currents can present consistent possibilities to the analyzes proposed in this work. The Research Methodology is characterized as a qualitative approach, considering that the research interventions originated data, which were tabulated and transformed into percentages capable of meaning the impacts caused in the students' routine, as well as in their cognitive progress. The present research was developed with high school students from public schools, located in the municipality of Bragança, State of Pará. Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará, duly enrolled and assiduous in classes in the remote model. Data were collected through the application of a didactic sequence on Modern Physics, applied to students during three virtual meetings. The data reveal that the proposed intervention generated positive results, as the students were satisfied with the active proposal of an inverted classroom. This, in turn, improved cognition and reasoning skills in students, while mobile technology took the place of a knowledge mediating tool. It is hoped that this research can yield future developments in the context of academic research, in order to constantly collaborate with Brazilian education and with a physics teaching proposed from a more concrete perspective.

**Keywords:** Physics Teaching. Compton Effect. Flipped Classroom. Mobile Technology.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Ilustração do experimento de Max Von Laue. ....	43
FIGURA 02 – Ilustração do espalhamento do raio X por planos cristalinos e a construção de interferência construtiva. ....	44
FIGURA 03 – Experimento de Bragg .....	45
FIGURA 04 – Espectro contínuo de raios X .....	46
FIGURA 05 – Emissão do raio X característico.....	47
FIGURA 06 – Ilustração do experimento realizado por Compton. ....	48
FIGURA 07 – Modelo atômico proposto por Thomson.....	49
FIGURA 08 – Ilustração do Espalhamento Compton .....	53
FIGURA 09 – Conservação do <i>Momentum</i> para o efeito Compton. ....	55
FIGURA 10 – Representação gráfica do $\Delta\lambda$ em seu valor mínimo.....	58
FIGURA 11 – Representação gráfica do $\Delta\lambda$ em seu valor máximo. ....	59
FIGURA 12 – Gráfico do valor máximo e mínimo de $\Delta\lambda$ .....	59
FIGURA 13 – Exame de mamografia 2D e 3D .....	64
FIGURA 14 – Laboratório de Estudos Físico-Químicos e Arqueometria do Museu Arqueológico de Thessaloniki, Grécia .....	65
FIGURA 15 – Aparelho de radiografia.....	65
FIGURA 16 – Detector de mina terrestre. ....	67
FIGURA 17 – BUSTER K910B – equipamento que auxilia na detecção de contrabando.....	68
FIGURA 18 – Aparelho desenvolvido em 1988 e utilizado no imageamento do tórax, por meio do efeito Compton. ....	69
FIGURA 19 – Interface inicial do aplicativo. ....	78
FIGURA 20 – Interface da área de escolha dos parâmetros. ....	79
FIGURA 21 – Interface da simulação.....	80
FIGURA 22 – Imagem inicial de alguns vídeos que foram gravados pelos alunos ...	92
FIGURA 23 – Momento de apresentação do simulador aos alunos. ....	95
FIGURA 24 – Explicação do exercício sugerido para ser usado com o aplicativo. ...	95

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – Questão 01 (Pré-Teste).....	82
GRÁFICO 02 – Questão 02 (Pré-Teste).....	83
GRÁFICO 03 – Questão 03 (Pré-Teste).....	84
GRÁFICO 04 – Questão 04 (Pré-Teste).....	84
GRÁFICO 05 – Questão 05 (Pré-Teste).....	85
GRÁFICO 06 – Questão 06 (Pré-Teste).....	86
GRÁFICO 07 – Questão 07 (Pré-Teste).....	87
GRÁFICO 08 – Questão 08 (Pré-Teste).....	87
GRÁFICO 09 – Questão 09 (Pré-Teste).....	88
GRÁFICO 10 – Questão 10 (Pré-Teste).....	89
GRÁFICO 11 – Questão 01 (Pós-Teste).....	98
GRÁFICO 12 – Questão 02 (Pós-Teste).....	98
GRÁFICO 13 – Questão 03 (Pós-Teste).....	99
GRÁFICO 14 – Questão 04 (Pós-Teste).....	101
GRÁFICO 15 – Questão 05 (Pós-Teste).....	102
GRÁFICO 16 – Questão 06 (Pós-Teste).....	104
GRÁFICO 17 – Questão 07 (Pós-Teste).....	105
GRÁFICO 18 – Questão 08 (Pós-Teste).....	105
GRÁFICO 19 – Questão 09 (Pós-Teste).....	107
GRÁFICO 20 – Questão 10 (Pós-Teste).....	108

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular.

COVID – *Corona Virus Disease*.

CT – Ciência e Tecnologia

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade.

CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

EJA – Educação de Jovens e Adultos.

ENEM – Exame Nacional de Ensino Médio.

EsM – Ensino sob Medida.

FM – Física Moderna.

GPS – Sistema de Posicionamento Global.

IFPA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará.

MA – Metodologia Ativa

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacionais.

PHET – *Physics Education Technology Project*.

TDIC – Tecnologia Digital de Informação e Comunicação

TDS – Técnico em Desenvolvimento de Sistema

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais.

UNIFESSPA – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1 ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM A TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO.....</b>	<b>22</b>
1.1 ABORDAGEM CTSA NO ENSINO DE FÍSICA.....	22
1.2 CONTRIBUIÇÕES DAS METODOLOGIAS ATIVAS AO ENSINO DE FÍSICA .....	25
1.3 FÍSICA MODERNA E EDUCAÇÃO BÁSICA .....	32
1.4 USO DAS TDIC NA EDUCAÇÃO .....	34
1.4.1 <i>Uso de Simulações Computacionais e Aplicativos Móveis no Ensino de Física.....</i>	<i>38</i>
<b>2 EFEITO COMPTON.....</b>	<b>42</b>
2.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DO EFEITO COMPTON.....	42
2.2 ASPECTOS MATEMÁTICOS DO EFEITO COMPTON.....	52
2.3 APLICAÇÕES DO EFEITO COMPTON NA SOCIEDADE .....	64
2.4 ENSINO DO EFEITO COMPTON EM ALGUNS LIVROS DIDÁTICOS.....	70
<b>3 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS DA INTERVENÇÃO DIDÁTICO- PEDAGÓGICA .....</b>	<b>72</b>
3.1 MÉTODOS DE PESQUISA.....	72
3.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA .....	73
3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	73
3.4 CONSTRUÇÃO E ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	74
3.4.1 <i>Sequência Didática .....</i>	<i>75</i>
3.5 SIMULADOR COMPUTACIONAL <i>INTERCOMPTON</i> .....	77
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>81</b>
4.1 PRIMEIRO MOMENTO .....	81
4.2 SEGUNDO MOMENTO.....	90
4.3 TERCEIRO MOMENTO .....	97
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>114</b>

<b>7 APÊNDICES .....</b>	<b>121</b>
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO.....	121
APÊNDICE B – ATIVIDADE COM AUXÍLIO DO APLICATIVO <i>INTERCOMPTON</i> .....	128
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AUTOAVALIAÇÃO DOS MOMENTOS DE APRENDIZAGEM .....	131
APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL .....	134

## INTRODUÇÃO

Ao encontrar motivação no contexto problemático do ensino de Física no Brasil, a referida dissertação de mestrado defende uma postura de ensino ativo de Ciências Naturais, sobretudo no que se refere à Física Moderna (FM) no Ensino Médio. Parte-se da premissa de que a Física, enquanto componente curricular, necessita de uma maior visibilidade no que se refere ao seu papel de catalisação das habilidades cognitivas do aluno. Para isso, há de se incentivar, nos discentes e docentes, uma busca do conhecimento da FM a partir da relação com outros tópicos de saberes afins, de maneira a tornar o ensino de Física mais concreto.

Nesse sentido, a referida investigação procura contribuir com as demais discussões travadas no âmbito científico do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ofertado pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). Por outro lado, esta premissa de pesquisa atua de maneira interdisciplinar, podendo colaborar com outros contextos de ensino, seja na educação superior, seja na educação básica brasileira.

A linha de pesquisa em que essa dissertação de mestrado está alojada é “Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física”, por meio da qual é possível relativizar o ensino de Ciências Naturais a partir da projeção tecnológica no âmbito da educação. Tal projeção torna-se ainda mais pertinente diante do contexto da pandemia de COVID19, que se instaurou no planeta. De forma repentina, a tecnologia passou a ser a única estratégia de se fazer educação, cobrando de todos os sujeitos envolvidos o mínimo de engajamento com a referida ferramenta. Diante disso, suscitaram discussões que tratam da prática tecnológica como medida emergencial ao procedimento educativo em todas as suas dimensões.

Realizou-se um levantamento, no portal de periódicos da CAPES, dos trabalhos publicados nos últimos 10 anos (2010 – 2020), a respeito da temática do Efeito Compton no Ensino Médio. As palavras-chave utilizadas foram: Efeito Compton, ensino do Efeito Compton, Física Moderna no Ensino Médio e dualidade onda-partícula. Obteve-se, como resultado, 40 artigos para a busca da primeira palavra. Entretanto, após a leitura do resumo de cada um, finalizou-se em 2 artigos (LINO FUSINATO, 2011; SOUZA; ARAÚJO, 2010), os quais relatam a trajetória de Compton até sua descoberta científica, não havendo relação desses 2 artigos ao ensino do

fenômeno. Para a segunda palavra-chave, obteve-se um total de 5 artigos, sendo 3 deles adequados a esta investigação (DA SILVA; ARENGHI; LINO, 2013; MONTEIRO; NARDI; FILHO, 2013; CUNHA; GOMES, 2012). Na busca da terceira palavra-chave, obteve-se o total de 639 publicações, onde 8 dos artigos estavam dentro da temática buscada, sendo 6 artigos e 2 dissertações (SÉ, 2016; D'ANDREA, 2014). Por fim, na busca da última palavra-chave, foram encontrados 2 trabalhos, sendo que apenas 1 se adequa ao escopo desta pesquisa (SÉ, 2016).

Realizou-se uma busca na plataforma *Google Acadêmico* com as palavras-chaves dualidade onda-partícula, na qual foram encontradas 135 publicações, na qual, após a leitura de seus resumos, foi possível fazer uma triagem de 3 publicações, sendo 1 dissertação e 2 artigos (OZCAN; GERCEK, 2015; OLIVEIRA; MIYAHARA, 2014).

Realizou-se o pós-teste para averiguar o conhecimento sobre o assunto, no qual foi observado que os estudantes estavam empolgados com o tema e com a forma na qual ele foi discutido em sala de aula. Também foi percebida a importância de se planejar, com objetividade, as atividades a serem desenvolvidas no âmbito escolar para incentivar os alunos a buscarem mais informações.

Nesse ínterim, ao trazer uma metodologia que articule a história da Ciência sobre Arthur Holly Compton, o espalhamento Compton e as simulações possibilitam aos estudantes observarem o efeito a partir de diferentes valores e movimentos, bem como analisar a dualidade onda-partícula. Logo, torna-se importante, nessa pesquisa, a abordagem de ensino por intermédio da articulação entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), partindo do princípio de que a tecnologia deve ser usada como ferramenta a favor de práticas sociais aplicadas ao ensino. Dessa forma, a CTSA foi uma metodologia escolhida para coleta e tratamento dos dados em razão da importância da tecnologia como intermediadora das práticas de ensino de Física mobilizadas no desenho metodológico dessa pesquisa. A telefonia móvel tem se mostrado um arsenal tecnológico bastante recorrente nas práticas de social contemporâneas, o que muito colabora para a escolha mobilizada.

Diante de todos esses pressupostos, atenta-se aos questionamentos de um contexto social emergente, que se desenvolve, ainda, de maneira instável, tais como a incerteza de uma prática de ensino eficiente e eficaz, bem como da fluidez com a qual as mudanças ocorrem nos atos comunicativos. Por isso, há necessidade de se

propor olhares ativos acerca das estratégias metodológicas, cabendo ao aluno a posição de protagonista do processo educacional.

Dessa forma, a referida dissertação de mestrado apresenta o seguinte afunilamento temático: Ensino e Aprendizagem do Efeito Compton por meio da Associação de Metodologias Ativas (MA) e de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação.

Diante disso, é possível fazer a seguinte indagação: **Como o ensino do Efeito Compton, orientado pelo uso de um aplicativo para aparelho móvel e pela metodologia ativa “Sala de Aula Invertida”, pode impactar a visibilidade e motivação do estudo da Física Moderna no contexto da escola básica?**

Este problema de pesquisa abre precedente ao seguinte objetivo geral:

- Propor o Ensino de FM na Educação Básica, a partir da abordagem do Efeito Compton, das orientações da MA “Sala de Aula Invertida” e do uso de um aparelho móvel.

Este objetivo, por sua vez, desdobra-se nos demais objetivos específicos:

- Construir uma Sequência Didática que apresente uma proposta viável do uso de um simulador computacional, como recurso educacional de apoio ao professor de Física do Ensino Médio, para abordar o conteúdo Efeito Compton;
- Aplicar a Sequência Didática no município de Bragança (PA), em turmas da 3ª série do Ensino Técnico integrado ao Ensino Médio – Curso de Edificações e Curso Técnico em Desenvolvimento de Sistema (TDS);
- Validar a Sequência Didática junto aos discentes envolvidos, por meio dos seguintes instrumentos de pesquisa: o simulador e a estratégia de Sala de Aula Invertida.

A FM ainda é vista, lamentavelmente, como algo muito abstrato, tanto pelo docente, quanto pelo discente. Entretanto, é possível problematizar essa visão caso haja uma preparação por parte do corpo docente, de maneira a mostrar que essa área da Física se faz cotidianamente presente na vida dos alunos. É possível abordar a FM de maneira mais concreta, quando as aplicações são apresentadas ao discente por intermédio de experimentos, vídeos, simuladores (BARBOSA *et al*, 2017).

De acordo com Busatto *et al.* (2018), muitos professores, pesquisadores embasados em documentos legais, a exemplo, a Base Nacional Comum Curricular

(BNCC), Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (BRASIL, 2018; BRASIL, 1998) entre outros, defendem que os conhecimentos da FM precisam ser iniciados no Ensino Médio, desde que haja uma ligação entre a utilização da mesma e o conhecimento prévio que os estudantes trazem consigo. Isso, por sua vez, pode colaborar na aptidão dos alunos no ato de relacionar tecnologia, sociedade e ciência. A partir dessa relação, o discente compreenderá, provavelmente, que os conceitos estudados podem ser diretamente articulados às ações concretas de sua rotina, tais como a criação de novos equipamentos eletrônicos e tecnologias avançadas.

As pesquisas sobre a FM no Ensino Médio estão em evidência desde a década de 1970 e continuam a ser realizadas até o momento presente. Infelizmente, ainda há muitas dificuldades, por parte do docente, ao ensinar FM na Educação Básica (CHIARO; AQUINO, 2017; REZENDE, 2001). Geralmente, essa parte da Física, quando discutida, é vista no encerramento do Ensino Médio, o que leva alguns professores a não abordarem o tema por questões relativas ao tempo de curso disponível (MOREIRA, 2000).

A abordagem matemática da FM se mostra como algo prejudicial ao próprio crescimento intelectual e social do aluno. Há de se considerar que a Física, independentemente de sua vertente, é uma Ciência Natural, ainda que com natureza descritiva. Nesse sentido, resumi-la aos saberes matemáticos parece algo que não favorece o desenvolvimento social e tecnológico dos alunos, já contemplados em outros contextos sociais, assim como assevera Oliveira (2019).

As escolas que serviram como *locus* para geração dos dados da pesquisa apresentam livro didático, no qual não é dada a devida ênfase ao Efeito Compton, relativizando sua importância e interesse em se fazer um estudo mais complexo a respeito da referida temática, tal como afirmam Silva *et al.* (2011). Para os autores, a concepção didática apresentada pelos livros escolares pode colaborar na compreensão das Ciências como um todo, portanto, como algo interdisciplinar por excelência. Assim, os autores atentam à importância de se considerar, também, o percurso de evolução histórica da Física, que muito se mistura aos conhecimentos não somente, ou propriamente, matemáticos.

Neste sentido, os autores supracitados afirmam que os livros didáticos são mecanismos muito poderosos para discutir a ciência, suas descobertas e inovações tecnológicas, que surgiram no decorrer dos séculos, por meio dos esforços de grandes pesquisadores.

Um tema da FM pouco discutido nos livros didáticos é o efeito ou espalhamento Compton e suas aplicabilidades tecnológicas. Pesquisadores, como Boldo e Appoloni (2010), observaram que, na área industrial, o uso do espalhamento Compton é empregado na detecção de falhas e/ou irregularidades em estruturas, ao mostrar grande vantagem em relação a outras técnicas utilizadas.

Destaca-se que o objeto de investigação dessa dissertação de mestrado não é, propriamente, o livro didático, embora tal material tenha ganhado certo destaque. As alusões feitas a esse aporte didático contextualizam a proposta de criação e aplicação da Sequência Didática, como já adiantado pelos objetivos listados.

Além da utilização do Efeito Compton na detecção de falhas estruturais, este tipo de espalhamento pode ser um instrumento basilar no processo de catalisação das habilidades de raciocínio lógico e mobilização tecnológica, habilidades fundamentais no atual contexto social. Todavia, pode-se citar também a área da medicina correspondente aos estudos das alterações da densidade óssea, assim como em órgãos e tecidos maleáveis, de forma a obter um diagnóstico de doenças precoces.

Outros investigadores, como Anghaie *et al.* (1990), pesquisaram o espalhamento Compton, de maneira a usar, de forma mais específica, o ângulo de espalhamento e a energia do fóton espalhado para formularem uma técnica chamada “espectroscopia diferencial por retroespalhamento gama”. Essa técnica é usada para detectar, mensurar e localizar falhas em estruturas metálicas, o que é imprescindível saber na área industrial.

Atualmente, o homem está imerso em um mundo de tecnologias e descobertas científicas que, cada vez mais, chamam a atenção dos discentes. Muitos destes, com pré-concepções e indagações sobre os princípios científicos das tecnologias que os cercam. Entretanto, é comum o professor não abrir espaço para que haja essa discussão, resumindo suas aulas aos livros e ao quadro. Sobre essa falta de debate nas aulas de Física, Oliveira *et al.* (2007) afirmam que se trata de uma prática pedagógica lacônica e desatualizada.

A partir da fala dos autores, pode-se refletir a respeito da importância de metodologias mais atrativas aos alunos. Por meio delas, instigamos os estudantes a buscarem respostas aos seus questionamentos cotidianos. Além disso, tais estratégias metodológicas podem fazer o aluno pensar criticamente sobre quais os benefícios e/ou malefícios que os avanços tecnológicos podem trazer à sociedade. Corroborando com este pressuposto, Ostermann e Moreira *apud* Oliveira *et al.* (2007

p.448) afirmam que “os estudantes ouvem falar em temas como buracos negros e *Big Bang* na televisão ou em filmes de ficção científica, mas nunca nas aulas de física”. Diversos conceitos físicos são assimilados pelos discentes de forma equivocada, em razão de não haver a oportunidade de dialogar com o docente sobre tal.

Além dessas situações, há também a falta de incentivo, por parte de alguns professores, em buscarem mais informações fora da sala de aula. Há metodologias que visam auxiliar o professor no âmbito escolar, para que este desperte em seus discentes o interesse por novas informações, sem terem a nota em si como principal motivador. Essas orientações metodológicas são conhecidas como MA de ensino e aprendizagem, as quais primam pelo protagonismo aferido ao aluno no decorrer do processo educacional (DE LIMA, BARBOSA; PEIXOTO, 2018; MATTAR; AGUIAR; 2018; PEREIRA *et al.*, 2009).

Isso reflete no momento da aplicabilidade prática do seu aprendizado, na relação com os colegas de sala e sua maneira de expressar suas opiniões, seja de maneira oral ou escrita, também sofrem grandes mudanças positivas, pois passam a desenvolver autonomia para pensar e atuar na resolução de problemas. Dar espaço para que o estudante possa “crescer” é fundamental para torná-lo um ser crítico e questionador (OLIVEIRA, 2019; FREIRE, 1987).

Barbosa e De Moura (2013) afirmam que, nas MA, o docente é mediador do processo de ensino e aprendizagem, mas isso não o isenta de assumir postura ativa diante das situações que vão surgindo em sala. Na adversidade, o professor deve pensar estratégias analógicas para minimizar determinados problemas.

O docente que utiliza MA tem uma função essencial, que é motivar o aluno e torná-lo “ativo”, para que sua formação ocorra de maneira consciente e dinâmica. Isso pode incentivá-los a trabalharem a noção de independência, incentivando-os a tomarem suas próprias decisões. Com isso, a aula acontece de maneira colaborativa e participativa. Como apoio a essa metodologia, tem-se as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) aplicadas à educação. Segundo Soares *et al.* (2016), a tecnologia, aliada ao ensino, é algo proposto pela própria Física, enquanto Ciência Natural, já que seus maiores avanços tiveram participação tecnológica.

Segundo Pszybylski, Mota e Kalinke (2020), as TDIC são, na verdade, o leque de possibilidades de ensino e aprendizagem a partir do arsenal tecnológico que semiotiza práticas sociais entre docentes e discentes no contexto escolar. As TDIC ajudam a promover uma maior compreensão do fenômeno físico quando trabalhada

em conjunto com as MA (SOARES; COLARES, 2020). Ao se discutir acerca da Física e da tecnologia, tem-se uma valiosa oportunidade de demonstrar aos estudantes, onde cada conceito, em especial da FM, é empregado.

Uma estratégia que pode ser trabalhada em conjunto às MA está inserida dentro das TDIC. Trata-se do uso de simuladores computacionais. Ao simular um fenômeno físico, o aprendizado é oportunizado ao discente, a partir da compreensão dos elementos envolvidos. De acordo com Barbosa *et al.* (2017), simular algo, no contexto da Física, é uma iniciativa técnica e pedagogicamente bem elaborada, visto que parte do princípio realista dos fenômenos naturais. Esse efeito nos discentes é essencial para que haja a busca por novas informações, novos caminhos que facilitem o seu ensino e aprendizado.

A simulação de alguns fenômenos oferece condições aos discentes de realizarem ligações entre a teoria e a prática. Utilizar as MA e o simulador são premissas basilares à educação, pois novos trajetos serão traçados para aumentar a curiosidade do estudante, a fim de que ele possa se tornar um ser observador e crítico perante os fenômenos que acontecem em sua rotina diária, tendo, assim, uma aprendizagem significativa (CONDE, 2021).

O que se propõe acima é, contudo, algo que se parece ser confluyente ao desenvolvimento de modelos mentais pelos alunos, os quais, por estarem imersos a práticas ativas de ensino, oportunizadas pela tecnologia, tendem a projetar, mentalmente, protótipos de uma Física menos abstrata.

Com base nessa discussão, o produto educacional que resultou desta pesquisa é a sequência didática, a qual foi desenvolvida a partir do foco no processo de ensino e aprendizagem do Efeito Compton, baseada em MA e que faz uso de uma ferramenta digital de aprendizagem, aqui denominada como simulador.

Em outros termos, estudar o Efeito Compton é compreender além de cálculos, considerando a história científica; os debates envolvidos na consolidação desse efeito; a vida do cientista e suas aplicações tecnológicas relevantes.

Quanto mais caminhos forem traçados em prol do ensino da FM, mais os professores perceberão que é importante discutir sobre o tema, preparar os estudantes para serem atores críticos perante à ciência e à sociedade. As pesquisas publicadas, relacionadas ao ensino do Efeito Compton, trazem grandes contribuições metodológicas para serem trabalhadas ou adaptadas na sala de aula, junto aos estudantes.

No Capítulo 1, foi abordada a articulação entre o ensino de FM no contexto da educação brasileira e as colaborações pedagógicas da tecnologia da educação. No Capítulo 2, é possível perceber um panorama a respeito do Efeito Compton, a partir de sua definição, bem como seus reflexos na sociedade. No Capítulo 3, foi apresentado o desenho metodológico da referida investigação, com vistas a discutir abordagem de pesquisa, tipo de pesquisa, técnica de pesquisa, além da estrutura da Sequência Didática e do simulador *InterCompton*. Já no Capítulo 4, foi feita a análise dos dados coletados a partir da proposta metodológica já mencionada. Por fins de organização, os dados foram tratados a partir da interação de três momentos do processo investigativo. Por fim, no Capítulo 5, apresentou-se as Considerações Finais dessa dissertação de mestrado.

## **1 ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO BRASIL E SUAS RELAÇÕES COM A TECNOLOGIA NA EDUCAÇÃO**

No decorrer deste capítulo, os pressupostos teóricos abordados trazem uma discussão sobre o ensino da FM e a Educação Básica; uma abordagem sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTS); uma reflexão sobre MA, o uso das TDIC e, em especial, o de simulações no ensino de Física.

### **1.1 Abordagem CTSA no Ensino de Física**

Durante as décadas de 1960 e 1970, teve início uma discussão sobre Ciência e Tecnologia (CT), na qual se observava a importância de se discutir as descobertas científicas e as inovações tecnológicas que estavam surgindo, pois estas causavam diversas transformações na sociedade. Almeida (2018) afirma que nos referidos anos, surgiu, em alguns países da Europa e da América do Norte, o Movimento CTS, diante dos questionamentos da sociedade a respeito dos danos sociais e ambientais que as atividades científicas e tecnológicas causavam à época. A ideia dos envolvidos era participar das decisões que envolvessem CT, de forma que elas beneficiassem a sociedade e seus interesses.

Houve um grande movimento de pesquisadores e educadores para se trabalhar CTS na sala de aula, de modo a levar aos estudantes informações atualizadas e que se faziam presentes no cotidiano de cada um. Chiaro e Aquino (2017) afirmam que diversos pesquisadores e educadores se mostram interessados em descobrir métodos que auxiliem na promoção da construção do conhecimento e no desenvolvimento das habilidades de raciocínio de seus estudantes. Neste sentido, debater as transformações que ocorrem na ciência com os estudantes é torná-los mais ativos socialmente.

Com o avanço das práticas sociais, o que tornou a CTS mais complexa, tornou-se pertinente a nomenclatura Ciências numa perspectiva CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente), por considerá-la mais condizente com as demandas de uma sociedade emergente.

Diante de tal proposta, é necessário pensarmos em inovações na maneira de ensinar, pois, como afirmam Schwan e Santos (2020), com a rapidez que Ciência e Tecnologia (CT) evoluem, é imprescindível se pensar em metodologias diferentes que

ajudem a ampliar o olhar do estudante e do professor para novas oportunidades em relação às mudanças no currículo. O professor terá autonomia para criar atividades que estimulem a participação dos alunos em debates e despertem a sua criticidade sobre os acontecimentos sociais.

A discussão de CTS na sala de aula mostra que tudo está relacionado, a sociedade é quem sofre os impactos do avanço científico e tecnológico. Para Pezzarini e Maciel (2018), no âmbito escolar, o ensino de ciências é o mais privilegiado, pois oferece práticas e discussões que se completam com as questões sugeridas pela CTS. Dentro dessa perspectiva, o ensino da Física possibilita aos alunos a oportunidade de observar, refletir e debater sobre as inovações científicas e suas consequências à sociedade na qual está incluído. Entretanto, para que isso aconteça, é preciso que as ações educacionais sejam modificadas, como já dito anteriormente, por Schwan e Santos (2020).

Lacerda (2019) ressalta que as pesquisas sobre CTS aumentaram consideravelmente no campo discursivo, pois surgem diversas propostas de ensino envolvendo essa temática, mas que, infelizmente, não são colocadas em prática. E uma das ações que implicam nessa situação é o fato dos professores não terem formação adequada envolvendo CTS. Trata-se de um desafio às mudanças curriculares na grade de ensino do curso superior, ao colocar o tema em discussão desde a formação dos professores para que, quando estes estiverem em sala de aula, não tenham dificuldades em discutir os assuntos com os estudantes e, com isso, fazer as articulações pertinentes.

Para Costa (2020), o enfoque da CTS está diretamente no âmbito de integralização com as demais disciplinas, em especial, as Ciências sejam realizadas de modo que o aluno possa ter a possibilidade de interligar a evolução da CT e os acontecimentos sociais no qual está inserido, tornando debates com mais embasamentos teóricos e práticos. Neste sentido, conforme Lacerda (2019), é imprescindível que o professor seja visto como um sujeito essencial, quando tratada as reformas educativas, pois são eles que deveriam obter a formação apropriada, ocorrendo, assim, uma motivação para que trabalhe no ambiente escolar essa proposta de ensino. A CTS traz diferentes possibilidades de ser trabalhada em diversas disciplinas sociais, exatas, entre outras

Com a utilização dessa abordagem, tanto professor, quanto aluno têm a oportunidade de observar temas estudados na FM em seu cotidiano e perceber a

importância dos efeitos físicos na sociedade, sua contribuição para as inovações tecnológicas e onde estas são empregadas.

De maneira mais pontual, sobre a abordagem CTSA, citam-se as pesquisas de Aguiar (2017), Rosa e Landim (2018) e Oliveira (2019), as quais, em um cenário científico mais recente, propõem a abordagem CTSA como procedimento catalisador na formação de professores de Ciências Naturais.

Em sua pesquisa, Aguiar (2017) problematiza o ensino de Física na educação básica, colocando-o como essencial ao desenvolvimento social, cognitivo e crítico do aluno. Nesse sentido, ele propõe uma visão interdisciplinar sobre a problemática ao reconhecer que a Física, desvinculada dos outros saberes sociais, não responde satisfatoriamente às demandas da formação no ensino escolar. Assim, lança mão da História da Filosofia da Ciência como ponto de partida para suas contribuições. A abordagem CTSA, já mencionada anteriormente, é vista pelo autor como alternativa eficaz no desenvolvimento da percepção crítica do aluno, pois a relação entre tecnologia-sociedade-ambiente-história da física apresenta resultados satisfatórios, os quais ajudam a compreender a sociedade como um todo.

Já para Rosa e Landim (2018), a maneira como os docentes de Ciências Naturais enfocam a aplicação de CTSA está diretamente associada à maneira com a qual estes percebem o universo da sala de aula. Nesse sentido, tais autores optam por um viés pedagógico e procuram mapear olhares dos professores de Biologia da educação básica, no que se refere às práticas pedagógicas que utilizam para cumprirem suas ementas. A investigação revela a falta de aparato tecnológico e de recursos digitais, pontos importantes à aplicação do CTSA. Logo, torna-se um trabalho convidativo, pois abre-se o leque de oportunidade de intervenção a partir do mapeamento ilustrado. Para os autores, a aplicação CTSA seria eficiente e eficaz no ensino-aprendizagem de Ciências Naturais naquela realidade, podendo auxiliar os alunos até mesmo no Exame Nacional de Ensino Médio (ENEM).

Por fim, mais recentemente, Oliveira (2019) investigou como a abordagem CTSA pode contribuir na formação de graduandos em Química, Física e Biologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tendo em vista a confecção de uma Sequência Didática a ser aplicada em turmas da Educação de Jovens e Adultos (EJA). A intenção foi aproveitar a essência social CTSA para dialogar com as vivências práticas e concretas desses sujeitos de pesquisa. Tendo a Sequência Didática, orientada pela CTSA, como produto, a pesquisa revelou que o próprio graduando em

Ciências Naturais apresenta conhecimentos rasos sobre interdisciplinaridade, o que os dificultou a contextualização com as experiências reais do público da EJA. Isso, por sua vez, se desdobrou na falta de experiência com a tecnologia desses mesmos graduandos ao longo de seu curso de formação inicial.

## **1.2 Contribuições das Metodologias Ativas ao Ensino de Física**

As MA surgiram tendo o aluno como ponto central do processo de ensino e de aprendizagem. Por meio dessas metodologias, buscamos auxiliar o estudante em seu processo de construção de saberes mais significativos à sua vida. O professor deve elaborar as suas práticas pedagógicas em conjunto com os alunos, levando-lhes a enfrentar situações-problema, nas quais eles serão instigados e orientados a criarem uma postura crítica e ativa diante do conhecimento (WEBER, 2019).

Nesse caso, o professor tem o papel de orientar e auxiliar na ativação e desenvolvimento do conhecimento e não de transmiti-los. Para reforçar esse pensamento, Sebold *et al.* (2010) afirmam que, com o surgimento das novas tendências educacionais é possível dar destaque a interação entre professor e aluno, pois esses, constroem juntos caminhos e métodos envolvendo o ensino e aprendizagem, tendo como resultado, o aluno construindo seu próprio conhecimento. Logo, a relação professor-aluno deve mudar, do fato do professor ser o centro. O discente ocupando o lugar de protagonista, novas responsabilidades lhe serão dadas, a fim de torná-lo um agente construtor do seu conhecimento.

Weber (2019) defende a MA como um grande incentivo aos professores, pois, os estimulam à criação de atividades que auxiliam no desenvolvimento crítico e reflexivo das pessoas, agindo com responsabilidade em relação aos métodos de aprendizagem empregados ao longo da vida. Há vários pesquisadores que apoiam diferentes tipos de MA, cada uma para ser trabalhada centrada no aluno. Entretanto, ao atingir “pontos” diferentes na busca de independência na construção do conhecimento, as MA são discutidas como teoria humanista e socioeducativa, com o objetivo de nortear a pesquisa a ser realizada.

A teoria humanista tem como um dos seus principais defensores Carl Rogers nascido em 1902 e falecido em 1987. Rogers (1985) assegura que a educação ocorre quando há contato entre professor e aluno, tendo em vista que é por meio desse contato que ele se tornará um educador facilitador. O docente deve permitir a

interação em sala de aula e conhecer um pouco mais os seus discentes, bem como discutir sobre as suas realidades. Quando isso ocorre, os alunos começam a perceber o professor mais presente.

Em relação ao papel do professor-facilitador, De Lima, Barbosa e Peixoto (2018) afirmam que o docente como educador-facilitador tem o papel de auxiliar seu aluno na construção do seu conhecimento, para que possa descobrir seus interesses e concretizar os objetos e expectativas que almeja, ajudando-o a ser um ser pensante e crítico responsável pela sua própria aprendizagem. O discente não deve ser um mero depósito de informações, mas sim ir em busca do conhecimento, na tentativa de encontrar explicações para suas inquietações.

Segundo Rogers (1985), fazer um lugar aceitável no qual os docentes e alunos possam discutir temas com mais liberdade ainda é um grande desafio para as instituições de ensino. Geralmente, o momento de maior contato entre o professor e o aluno se dá dentro da sala de aula, do ambiente formal, em que se discute, com mais propriedade, o que está nos livros, segue-se rotinas que, muitas vezes, já não alcançam seus objetivos com o alunado.

Novamente, De Lima, Barbosa e Peixoto (2018) enfatizam que o aluno moderno deve ter o que chamamos de “aprendizagem útil”, pois o mesmo deve estabelecer um processo de mudança em sua vida quando relacionado ao ensino, ao aprender a aprender, a estar aberto a novas experiências e na busca constante de conhecimento. Esse viés humanista valoriza a construção do conhecimento por parte do estudante, a busca de autonomia e a grande motivação, tanto para o professor quanto para o aluno. Essa teoria tem forte ligação à proposta socioeducativa.

Um grande defensor da teoria socioeducativa foi John Dewey, pedagogo e filósofo nascido em 1859, na cidade de Burlington, estado de Vermont (EUA) e falecido em 1952. Dewey trouxe ideias que ganharam forças dentro da teoria socioeducativa. Defendia a possibilidade de criar uma forma de educação inovadora, a qual exigia muito do educador, como abdicar de tradições, costumes e técnicas trabalhadas até então (DE LIMA; BARBOSA; PEIXOTO, 2018).

Pereira *et al.* (2009) asseguram que, dentro dessa proposta de educação, Dewey sugere que a aprendizagem seja provocada com a inclusão de situações ou problemas, ao criar perturbações intelectuais, dúvidas sobre o observado.

Essa discussão está embasada na MA chamada de Problematização, a qual, segundo Oliveira (2019), foi defendida por Paulo Freire (1921-1997) como discurso

principal de que os problemas os quais devem ser estudados são aqueles advindos da realidade do aluno, estimulando a prática de uma postura crítica. Somado a isso, os alunos, sentindo-se participantes das ações que ocorrem, se sentirão desafiados a responder aos novos desafios encontrados. Partindo desse ponto, o aluno se torna ativo, quando tem a chance de se expressar, de refletir sobre a situação proposta, assumindo com seriedade a sua formação. Entretanto, para o docente, ainda é difícil deixar de seguir certas regras, rotinas, pois a mudança lhe trará novos desafios.

De acordo com Mattar e Aguiar (2018), Charles Maguerez desenvolveu uma metodologia intitulada Problematização (ou Arco da Problematização), a qual foi esquematizada por meio do método do arco, em cinco etapas:

- a) observação da realidade social e concreta, com base em um tema, a qual conduzirá à redação do problema que será referência para as demais etapas;
- b) pontos-chave identificados por meio do levantamento das possíveis causas do problema e seus determinantes;
- c) teorização concernente à etapa de investigação, que envolve a busca por informações sobre o problema, as quais serão analisadas e avaliadas no que se refere à medida em que concorrerão para a solução do problema;
- d) hipóteses de solução, resultantes do estudo pormenorizado e aprofundado dos dados que envolvem o problema;
- e) aplicação à realidade, por meio da qual os alunos exercitam o compromisso com o contexto social em que estão inseridos e buscam transformá-lo (p.409).

A utilização dessa metodologia traz à prática docente alguns pontos a serem refletidos. O seu ciclo se inicia e termina na prática. Logo, quando utilizada com os alunos, esses têm, como ponto de partida, a observação da sua realidade, logicamente, a partir de um tema exposto pelo professor em sala de aula, para que essa observação seja objetiva. Em seguida, tem-se a identificação dos pontos-chaves da teoria que norteia a investigação, do levantamento de hipóteses para a solução do problema observado e, por último, de suas respectivas aplicações, na tentativa de buscar mudanças no meio social em que está inserido.

Ao concordarem com Mattar e Aguiar (2018), Pereira *et al.* (2009) afirmam que essa metodologia exige do professor uma modificação em sua postura, realizando trabalhos que exijam a reflexão e a observação do aluno. Além disso, exige que o professor esteja disponível à realização de pesquisa, ao acompanhamento e colaboração com o estudante, a fim de que esse tenha um aprendizado crítico. Esta ação traz ao professor imprevistos, provocando, assim, um compartilhamento de fatos e informações durante o processo de construção do conhecimento. A partir dessas

ações, observa-se no professor e no estudante a oportunidade de dialogar, refletir e expor questionamentos antes não formulados.

De acordo com as observações realizadas por Oliveira (2019) em sala de aula, com os seus alunos, chegou-se à conclusão de que os inserir no processo de aprendizagem permitiu que a adesão e o envolvimento dos alunos em trabalhos coletivos ou individuais tivesse resultados satisfatórios. Percebe-se, assim, que a Problematização pode ser uma grande aliada à Educação quando trabalhada com planejamento.

Como é possível observar, as MA podem ser executadas a partir de múltiplas vertentes da educação, em razão de sua natureza interdisciplinar. Entretanto, nesta pesquisa, nos interessamos mais de perto pela “Aprendizagem Significativa”, bastante difundida no campo da educação, por incentivar a formação de um discente mais crítico e autônomo. Conforme Studart (2019), esta deve contribuir à formação do senso crítico do estudante. Para ele, se o aprendizado significativo for analítico, o estudante é capaz de tecer comentários, realizar análises críticas sobre o assunto que está sendo discutido, envolvendo a sociedade na qual está inserido.

Em consonância com as MA, encontra-se um diálogo pertinente à esta pesquisa. Tais perspectivas teóricas são convergentes ao proporem o protagonismo discente como alternativa a uma formação mais consistente e socialmente engajada. Isso, por sua vez, contribui na formação de um aluno capaz de extrapolar os muros da escola e se tornar ativo em todos os meandros sociais (MOREIRA, 2015).

Moreira (2000) assegura que o aluno terá a oportunidade de participar da sua cultura e não ser subjugado por ela, por suas ideologias, por meio da aprendizagem significativa crítica. O discente, por meio do seu aprendizado crítico, construirá seus próprios conceitos, discutirá aspectos que lhe são relevantes e não se conformará com simples explicações ou regras dadas pela sociedade sem que lhe façam o devido sentido. Em outras palavras, resgatar o arsenal cultural do aluno é fundamental na obtenção do sucesso das MA, bem como do modelo de aplicação proposto nesta dissertação.

Moreira (2015) desenvolveu sua teoria de aprendizagem crítica após anos de estudos sobre a teoria de Ausubel. Foi influenciado por obras escritas por Neil Postman e Paulo Freire, pois a dinâmica em sala de aula baseada no professor perguntar e o aluno responder não é uma forma de aprendizado crítico. Isso não leva o aluno a questionar os fatos nem entender realmente o motivo deles serem

importantes.

Os ideais de Freire (1987) são influenciadores nos ramos da aprendizagem significativa em todas as áreas do conhecimento humano. Os pressupostos freireanos corroboram uma postura mais ativa e autônoma do aluno, readequando a função do professor no processo de ensino e aprendizagem. Este, por sua vez, deixa a posição de único sabedor e assume postura de facilitador do processo de aprendizagem. Com isso, o teor crítico é materializado por meio de tomadas de decisões do aluno, oriundas de sua posição protagonista no percurso.

Moreira (2015, p. 28) lista algumas contribuições que a aprendizagem significativa crítica traz ao crescimento intelectual do estudante:

1. *Princípio da interação social e do questionamento*: Aprender/ensinar perguntas em lugar de respostas.
2. *Princípio da não centralidade do livro de texto*: Aprender a partir de distintos materiais educativos.
3. *Princípio da consciência semântica*: Aprender que o significado está nas pessoas, não nas palavras, nas coisas.
4. *Princípio da aprendizagem pelo erro*: Aprender que o ser humano aprende corrigindo seus erros.
5. *Princípio da desaprendizagem*: Aprender a desaprender, a não usar conceitos e estratégias irrelevantes, ou obstaculizadores de novas aprendizagens.
6. *Princípio da incerteza do conhecimento*: Aprender que as perguntas são instrumento de percepção e que definições e metáforas são instrumentos para pensar.
7. *Princípio do abandono do quadro de giz (lousa)*: Aprender a partir de diferentes estratégias de ensino. Abandono da narrativa do professor como única estratégia.

É perceptível o crescimento que esse aprendizado traz aos estudantes, pois os auxilia no desenvolvimento como cidadãos críticos e a avaliar o que realmente é certo ou errado. Cada item apresentado por Moreira traz ao aluno um conjunto de oportunidades para desenvolver sua aprendizagem, de modo a tornar-se um ser reflexivo, crítico e ativo a partir de seu conhecimento prévio.

Uma estratégia das MA que se adequa bem ao princípio de aprendizagem supracitado é a “**Sala de Aula Invertida**”. Segundo Bergmann e Sams (2019), a “Sala de Aula Invertida”, que geralmente é feita dentro da sala de aula, passa a ser realizada, agora, na casa de cada aluno, e o que normalmente é realizado na casa do aluno, como por exemplo, o dever de casa, será feito na sala de aula junto com o professor. O docente atribui ao estudante o papel de protagonista na busca do seu conhecimento. Ele é instigado a fazer pesquisas, a estudar o tema previamente e, assim, quando estiver na presença do professor, terá a oportunidade de fazer

questionamentos, levantar hipóteses sobre o assunto.

Quando se escolhe trabalhar com MA é necessário colocar em prática alguns pontos relevantes que a metodologia traz. Antes do encontro na sala de aula, o professor enviará, junto com o material, uma atividade para que o aluno desenvolva e, após a sua realização, retornará ao docente para que possa analisar quais os enganos que os estudantes estão cometendo sobre o assunto abordado. Partindo desse ponto, após ter um *feedback* das atividades, o professor em sala de aula detalhará o assunto, abordando os erros observados na atividade enviada e esclarecendo por meio do diálogo individual ou coletivo os pontos que não ficaram bem esclarecidos.

Para Bergmann e Sams (2019), entre os grandes benefícios da aplicação dessa MA, está o fato de que aqueles alunos que têm maiores dificuldades, recebem mais auxílio. Caminhar pela sala de aula, auxiliando os alunos a compreenderem os conceitos de forma adequada, sem deixá-los se sentirem bloqueados pelas dúvidas, é um benefício que nem sempre se tem com as metodologias empregadas diariamente. Essa técnica metodológica deixa o professor com mais tempo em sala de aula para observar a evolução dos seus alunos e interagir com eles, pois agora ele poderá acompanhar com mais afinco as atividades, seja resolução de problemas laboratoriais ou trabalhos em grupos e individuais.

A ideia de utilizar a Sala de Aula Invertida reside no ato de diversificar os métodos de ensino, buscando favorecer o discente, tornando-o ativo e responsável pelo conhecimento a ser construído com os demais em sala de aula. Usar a tecnologia que está tão presente na vida do ser humano na procura por elementos que os façam criar suas próprias teorias sobre o que é utilizado dentro da sociedade na qual está inserido:

os alunos de hoje não são os mesmos para os quais o nosso sistema educacional foi criado. Em seu dia a dia, muitos estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus *smartphones*, *tablets* ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las. [...] Dentre os inúmeros desafios enfrentados pelos professores para promover uma aprendizagem significativa dos conteúdos, a divergência entre o perfil dos alunos atuais e o modelo de ensino ocupa posição importante (OLIVEIRA; ARAUJO; VEIT, 2016, p.04).

O modelo de ensino atual, infelizmente, ainda é deficiente no que se refere ao uso de tecnologias por parte dos discentes. Em diversas instituições de ensino é proibido que o estudante tenha consigo, em sala de aula, um telefone móvel e faça uso dele. Por outro lado, sabe-se que seu papel deve ser o de um auxiliador, um

mentor na construção do conhecimento do aluno.

Bergmann e Sams (2019) acrescentam ainda que, quando essa inversão é criada, traz oportunidades para melhorar a interação entre professor e aluno, assim como, a chance de explorarem a tecnologia. No entanto, utilizar algo comum no cotidiano dos estudantes em prol da educação é um mecanismo que exige objetividade e muito planejamento. Utilizar a tecnologia em sala de aula requer um preparo por parte do professor, quanto a atingir seus objetivos com a aula.

Quando os estudantes acessam informações sobre algum conteúdo, têm a oportunidade de acessar diversos sites, assistir a vídeos em canais de mídia e ler sites informativos, sempre buscando entender mais o assunto a ser discutido.

Studart (2019) fala sobre a sala de aula invertida, como uma mistura de diversas MA usadas para instigar os alunos na aprendizagem. Além disso, quando se escolhe trabalhar com a metodologia de Sala de aula Invertida, também é possível que nela haja diversos tipos de teorias da aprendizagem.

Uma MA que complementa com eficácia a Sala de Aula Invertida é o Ensino sob Medida (EsM). Studart (2019) afirma que as questões que envolvem o EsM são distintas dos problemas tradicionais, pois são construídas na perspectiva de que o aluno construa habilidades cognitivas e desenvolva suas habilidades metacognitivas. Quando se utiliza essa MA, o ambiente na sala de aula muda em relação ao trabalho dos estudantes, pois percebemos um forte engajamento por parte deles nas atividades.

Essas metodologias diferem do modelo utilizado pela maioria dos professores. Segundo Valente (2014), o professor, na visão tradicional, serve para transmitir informação aos alunos e estes devem estudar o material que lhes foi dado e fazer atividades que sirvam de avaliação, a fim de que o professor perceba que esses assuntos foram aprendidos. Logo, o discente receberia a informação na sala de aula e depois se preocuparia em estudá-la simplesmente para alcançar nota nas avaliações. Com a sala de aula invertida e o EsM, o que se propõe é que o aluno seja o responsável por construir o seu processo de aprendizado, crie suas próprias estratégias de aprendizagem e coloque-as em prática, ao seu tempo.

Bergmann e Sams (2019) asseguram que fazer os discentes assimilarem o máximo possível decorre da compreensão dos assuntos estudados nas aulas, tendo em vista que o aluno, quando percebe que o professor está ao seu lado, apoiando-lhe, responde a esse estímulo, dando o seu máximo comprometimento. Isso faz com

que o alunado se sinta confiante para avançar em sua construção do conhecimento.

### **1.3 Física Moderna e Educação Básica**

A FM é colocada em discussão na Educação Básica para provocar o questionamento e a observação no cotidiano de fatos relevantes à ciência. Essas constantes problematizações vieram como forma de mostrar aos discentes o quanto é importante discutir sobre o avanço científico e suas contribuições à sociedade. Giacomelli (2016) complementa tal fato ao afirmar que:

para que ocorra essa interação crítica, o cidadão precisa ter ao menos um conhecimento básico sobre as leis da natureza. Somente assim ele poderá compreender, por exemplo, as implicações de um tratamento de radioterapia, o funcionamento de sensores fotoelétricos, aparelhos de GPS e muitas outras tecnologias presentes em seu cotidiano, bem como compreender notícias sobre novas pesquisas e teorias que constantemente são veiculadas nos mais variados meios de comunicação. A teoria da relatividade restrita trata-se de um dos pilares da FM, e a compreensão de algumas das suas implicações pode ser uma forma de despertar o interesse pela Física e de estabelecer no sistema cognitivo do estudante uma nova forma de interagir com o mundo a sua volta (p. 09).

A partir do exposto acima, entende-se que os discentes trazem consigo certo conhecimento do seu cotidiano que precisa ser observado pelo docente e levado em consideração no momento da construção do planejamento das atividades a serem executadas em sala de aula. É necessário que o professor saiba trabalhar esses conhecimentos, instigando os alunos a buscarem novas informações e a descobrir novas formas de observação dos efeitos físicos presentes na sua vida. Trabalhar com tecnologias que estão disponíveis ao estudante, não só física, mas também virtualmente, como simuladores, animações, entre outros, pois a internet é uma realidade que está presente na vida da maioria dos estudantes.

Dessa maneira, faz-se necessário que o docente articule atividades incentivadoras ao conhecimento cognitivo prévio, para, assim, dar continuidade aos seus trabalhos em sala de aula ao envolver materiais atuais e de fácil percepção dos discentes para auxiliar na compreensão da FM. Camargo e Daros (2018) contempla uma reflexão sobre o pensamento de alguns alunos da educação básica e do ensino superior sobre as práticas docentes ao afirmar que:

ao conversar com alunos da educação básica e do ensino superior sobre os modos de ensinar e aprender, o ensino essencialmente transmissivo, centrado unicamente no conhecimento do professor, é motivo para muitas insatisfações. Reclamam não só do fato de terem de ficar horas ouvindo, mas também da rigidez dos horários, distanciamento do conteúdo proposto com a

vida pessoal e profissional e dos recursos pedagógicos pouco atraentes. (p. 04).

Essa é uma realidade no ensino brasileiro, especialmente no ensino de Física. O que se vê são os professores ensinando o conteúdo com cálculos, sem focar na parte prática, em que é possível a percepção do que está sendo estudado no cotidiano dos estudantes. Mostrar fatores reais aos alunos, como onde a Física é empregada, como ela ajuda na descoberta das novas tecnologias e quais os benefícios das novas descobertas científicas, traz uma discussão que vai além de apresentar o básico ao estudante.

Segundo Moreira (2018), as pesquisas sobre o ensino de Física no Brasil vêm sendo realizadas desde os anos 1980, por meio de diversos encontros nacionais e internacionais, a fim de discutir sobre as melhores maneiras de se trabalhar a Física em sala de aula. As discussões ajudam a traçar novos caminhos na educação, como metodologias e atitudes diferentes, pois isso serve de grande auxílio na formação profissional e pessoal, tanto do docente como do discente.

Por outro lado, mesmo com a iniciativa de se discutir sobre o ensino da Física, Moreira (2017, p. 02), propõe uma importante reflexão, quando assegura que “estamos no século XXI, mas a Física ensinada não passa do século XIX”. Essa é uma questão muito importante a ser discutida, pois muitos ainda estão ensinando assuntos e técnicas defasados.

Tais ocorrências não têm data para ter fim, partindo do princípio de que, de acordo com Moreira (2018), há uma grande diferença entre a teoria e a prática. Na fala, a prioridade é a Educação. Todavia, em diversos casos, as condições de trabalho dadas ao professor são vergonhosas. Um conjunto de ações, como muitos alunos em uma sala de aula, salários baixos, a carga horária de trabalho elevada, a quase ausência de formação continuada, a grade curricular que precisa ser atualizada, conteúdos que são estudados com base em listas de exercícios.

Ao corroborar com a discussão, Rezende (2001) ressalta que havia dois problemas que são fundamentais no ensino de FM: o despreparo dos professores, advindo de uma formação superior com deficiência e a abordagem que os livros didáticos fazem sobre os temas de FM, os quais, em sua maioria, são incompletos.

A discussão sobre o ensino de FM acontece há muito tempo, tal como se perceber na fala de Terrazzan (1992), ao assegurar que a atualização do currículo de Física é algo justificado pelo aumento dos conteúdos contemporâneos que influencia no entendimento do mundo que sofre alterações provenientes da ação humana e na

importância de formar cidadãos participativo e conscientes de suas ações no planeta em que vivem. Mais uma vez, há uma concordância com a fala de Moreira, no que compete à importância de atualização da grade curricular, pois a falta disso ajuda a tornar a disciplina de Física “atrasada” em relação aos acontecimentos científicos e desinteressante aos estudantes.

Para que o docente ensine temas atuais da FM é necessário reservar um tempo para estudar os assuntos envolvidos, levando em consideração a confecção de materiais com informações atuais. Da Silva e Pinheiro (2020) afirmam que a Educação é uma área altamente redesenhada. Quando se prepara para ensinar, faz-se necessário acompanhar a evolução tecnológica que todos os dias surge com a finalidade de juntar a realidade científica com o cotidiano do aluno, fazendo ser pensante e crítico dentro da sociedade que está inserido. A área de FM sofre alterações com frequência, pois, como dito anteriormente, o mundo científico se modifica constantemente.

Uma forma de abordar a FM de maneira vinculada ao cotidiano do aluno é utilizar a abordagem CTSA. Ela traz a importância de se discutir CT dentro da realidade do estudante e da sociedade na qual está inserido. Auxiliar o aluno a realizar novas descobertas por meio de discussões, debates e questionamentos sempre pautados nessa temática é importante para construção de um ser ativo perante a sociedade (AGUIAR, 2017; ROSA; LANDIM, 2018; OLIVEIRA, 2019).

#### **1.4 Uso das TDIC na Educação**

Um assunto que é foco de muitas pesquisas de ensino, atualmente, é o uso das TDIC, a fim de ajudar o professor a construir ambientes de aprendizagem com mais criatividade e interação entre os usuários (PSZYBYLSKI; MOTA; KALINKE, 2020). As TDIC estão presentes em praticamente todas as ações do ser humano. Todos estão interligados por meio das redes sociais e dos aparelhos eletrônicos, tais como celulares e computadores.

Segundo Soares e Colares (2020), as tecnologias estão conquistando espaço nos setores sociais, inclusive no ambiente escolar, em busca de resolver diferentes problemáticas, como, por exemplo, integrar os indivíduos de diferentes instituições educacionais e sistematizar o acesso ao conhecimento, a formação de profissionais da educação, a universalização do ensino entre outros. Por intermédio das TDIC, é

possível se conectar com o mundo, trocando informações e debatendo temas relevantes à uma boa formação de pessoas ligadas à educação.

De acordo com Almeida, Soares e Oliveira (2019), com o surgimento do computador e o processo de modernidade acontecendo ao longo dos anos, o uso das tecnologias vem se mostrando uma boa oportunidade para aprimorar as relações sociais. Assim, pensando no ambiente escolar, se usadas com objetivos e planejamento, as tecnologias podem ser um grande aliado do professor na sala de aula.

Para Soares e Colares (2020), é possível entender as TDIC como um instrumento para ser usado a favor da formação humana, da construção do conhecimento, ao possibilitar que os trabalhos realizados nas escolas e instituições melhorem consideravelmente. As TDIC, quando utilizadas de maneira adequada, por meio de sujeitos com certos conhecimentos para manuseá-las, é uma grande aliada nos trabalhos burocráticos, educacionais, entre outros. Não é o suficiente ter um aparelho novo, por exemplo, sem saber quais as funcionalidades que ele tem.

Há alguns contratempos em relação ao uso das salas de informática. Geralmente, o número de computadores é inferior à quantidade de alunos, tendo em vista que há falta de aparelhos e espaços, o que gera “arranjos”, como um computador para dois ou três estudantes desenvolverem atividade. Infelizmente, esse tipo de ocorrência é corriqueiro, incentivando os professores, em diversos momentos, a preferirem trabalhar na sala de aula sem o uso dessa tecnologia, o que evita, assim, esses tipos de transtornos.

Borba e Lacerda (2015) reforçam o pensamento de Sousa (2011), quando afirmam que, por ter um custo alto e pouco recurso financeiro, há diversas dificuldades em se manter um laboratório com infraestrutura adequada. Consequentemente, o espaço reservado para atividades laboratoriais é geralmente pequeno e não suporta um número de computadores adequados para uma única turma. Há também outras dificuldades que podem ser encontradas, como a velocidade da internet, a configuração dos computadores (muitas vezes, são antigos demais).

É importante observar que as TDIC trazem muitas benfeitorias quando utilizadas de maneira adequada. Não é ter um laboratório, mas sim saber se ele está preparado para receber os alunos que chegam, muitas vezes, cheios de entusiasmo e quando se deparam com uma situação não tão favorável, se desmotivam um pouco.

Há algumas alternativas para amenizar a deficiência dos laboratórios, sem que

a escola precise de novas aquisições. Pszybylski, Mota e Kalinke (2020) afirmam que os *smartphones* são uma alternativa para a inclusão das TDIC no ensino, e a escola não precisa investir em sua compra, pois ele já faz parte do cotidiano de muitos estudantes. O aparelho tem diversas finalidades, sendo uma delas o acesso à Web em espaços distintos, além de ser mais acessível à população de baixa renda, quando comparado ao preço de um computador. Nesse sentido, observa-se que o smartphone pode se tornar um grande aliado do professor e do estudante na busca por informações atualizadas, por exemplo.

Por outro lado, Borba e Lacerda (2015) mostram uma outra situação sobre o uso dos *smartphones* na sala de aula, que é o fato dos alunos, em diversas oportunidades, acessarem sites, redes sociais ou até mesmo jogos, sem o conhecimento do professor. Isso é um fator preocupante quando propõem-se trabalhar com esse aparelho no âmbito escolar. Contudo, é inegável que esse dispositivo contém diversos recursos que ajudam os estudantes a assimilar os conteúdos escolares, estando a sua maioria, disponível em lojas virtuais. Trabalhar com esses aparelhos requer um planejamento adequado, para que o estudante se sinta motivado a realizar a atividade realizada com afinco, com um propósito a ser cumprido.

Soares e Colares (2020) afirmam que o cenário atual, apesar da situação de enfermidade e em alguns lugares, calamidades, está passando por um período de ocorrência de novas possibilidades na esfera educacional, pois as tecnologias, principalmente as TDIC, têm alcançado grande destaque quando trata-se de aquisição de conhecimento. Passou a assumir o lugar de sala de aula, permitindo a interação, a troca de informações, a construção de diálogos e o fortalecimento da educação. Os professores e alunos passaram a utilizar as tecnologias com mais frequência e êxito no âmbito educacional.

O acesso à internet trouxe várias mudanças, como a criação de novos espaços educacionais, ampliando as formas de haver a comunicação e de se obter informação. Entretanto, Pszybylski (2019) afirma que o professor deve ter uma formação sobre TDIC em prol da educação, tornando-se capaz de identificar as limitações existentes e investigar as estratégias críticas e criativas mais adequadas para tornar os processos de ensino e aprendizagem de Física mais eficazes. O docente tem um papel importante nessas estratégias para utilização da TDIC no ensino, pois utilizar essa tecnologia unicamente para substituir a forma impressa de um livro, ou para

situações que não trazem novidades para o aluno, não ajuda na prática de ensino de forma significativa.

O discente precisa ver relação entre as TDIC e os conteúdos abordados em sala de aula para que esta se torne significativa. Segundo Martinho e Pombo (2009), o uso das TDIC na sala de aula transforma o ambiente escolar em um local com maior motivação para que os alunos possam focar a sua atenção no desenvolvimento dos seus afazeres com mais empenho e rigorosidade, obtendo assim, resultados mais elevados em relação a sua avaliação. Percebe-se, então, que a utilização dessas tecnologias traz benefícios em relação à aprendizagem dos estudantes na medida em que são utilizadas com comprometimento.

Complementando a fala de Martinho e Pombo (2009), Motta, Kalinke e Mocrosky (2018) asseguram que, quando se utiliza adequadamente as TIDCs, abre-se espaço para reconsiderar o ensino de modo que esse, promova mudanças significativas na maneira de ensinar e aprender os assuntos contidos nas disciplinas, em especial, aquelas que estão ligadas ao ensino de Ciências e Matemática.

Quando se trata do ensino de Física, tem-se diversas opções tecnológicas para trabalhar os diferentes temas da disciplina. Atualmente, é possível encontrar diversos *softwares* (programas) que trabalham as situações físicas do cotidiano, o que torna possível ao discente compreender os fenômenos, ao passo que estabelecem ligações com o cotidiano. Assim, Pszybylski, Motta e Kalinke (2020) garantem que os professores de Física são sempre desafiados a ministrar aos alunos conteúdos tidos como abstratos, pois possuem difícil visualização, tal fato ocorre, porque a maioria dos fenômenos não são visíveis, nem por experimentos ou observações laboratoriais. Nesse sentido, uma forma para se trabalhar com esses temas e tentar visualizá-los é utilizando os softwares, seja no computador ou no telefone através de aplicativos.

Segundo Borba e Lacerda (2015), há uma grande necessidade de novos estudos que abordem as potencialidades dos aplicativos educativos, na intenção de aumentar as chances de uso, recursos e garantir que novos sejam desenvolvidos. Concordando com esta afirmação, Pszybylski, Motta e Kalinke (2020) fizeram um mapeamento sobre aplicativos móveis para o ensino de Física gratuitos, que estão à disposição de quem usufrui do sistema operacional Android. Essa pesquisa trouxe como resultados a percepção de que há diversos aplicativos disponíveis na loja virtual *Play Store*. Assim, podemos afirmar que há uma variedade de aplicativos que podem auxiliar o professor na construção do seu planejamento, que podem ser grandes

aliados dos estudantes ao discutir um tema de forma mais dinâmica.

No ensino de Física, essa demonstração dos fenômenos da natureza tem grande efeito junto aos estudantes, principalmente quando se usa aplicativos de simulação. Macêdo *et al.* (2012) afirmam que, quando se usa a simulação em sala de aula, oferece-se ao aluno a oportunidade de construção de hipóteses, de testar e avaliar os resultados obtidos na simulação, além de aperfeiçoar a aprendizagem dos temas trabalhados. Decorre disso, a importância em esclarecer os objetivos que se tem ao trabalhar uma simulação específica, com o objetivo de estimular o estudante a ir além do conteúdo ministrado em sala de aula. Pszybylski, Motta e Kalinke (2020) declaram que a interatividade entre o aparelho e o usuário estabelece uma relação de diálogo, permitindo ao usuário a oportunidade de poder observar a simulação, a aula e até mesmo o jogo, ao considerar o seu tempo para entender os acontecimentos.

#### *1.4.1 Uso de Simulações Computacionais e Aplicativos Móveis no Ensino de Física*

O uso de simulações no âmbito do ensino é de grande auxílio aos professores e alunos no entendimento de diversos fenômenos físicos. Conde (2021) afirma que os simuladores dão ao estudante a oportunidade de explorar modelos mais complexos. Assim, permitem que os alunos explorem sistematicamente as diversas situações hipotéticas, havendo, assim, uma compreensão conceitual dos fenômenos físicos estudados mais adequada. Ao observar uma quantidade de laboratórios mal estruturados nas unidades de ensino, os simuladores passam a atuar como uma espécie de agente minimizador de algumas dificuldades no ensino de Física, podendo ser uma alternativa eficiente para o aprendizado discente.

Segundo Monteiro (2016), um recurso importantíssimo para o setor pedagógico é a utilização de simulações, pois elas facilitam a aprendizagem e ajudam na desmistificação de uma imagem calculista da Física dentro da sala de aula. Usar simulações no ensino é provocar uma mudança no modo de pensar do estudante, pois, em sala de aula, quando ocorrem as discussões sobre um tema, é frequente que ele fique no plano da abstração, sem compreender onde e como aquele assunto pode ser encontrado.

Conde (2021) traz como ponto a ser discutido, os laboratórios virtuais que têm facilidade de acesso e utilização, como, por exemplo, o projeto PHET da Universidade

do Colorado (EUA)<sup>1</sup>, o qual permite a observação de diversos fenômenos físicos e químicos por meio da simulação deles. Por meio dessas simulações, os alunos podem reproduzir situações que estão presentes em seu cotidiano, como também as hipotéticas, tendo a chance de observar, analisar, criar argumentações e ponderações críticas. Corroborando com Conde (2021), Neves e Santos (2021) asseguram que as simulações que o PHET oferece, dão a oportunidade de que haja grande interação para com os estudantes, levando a se ter um estudo das ciências de forma manipulada, o que permite a compreensão de causas e efeitos dos fenômenos estudados.

As simulações interativas instigam os estudantes a criarem situações envolvendo o tema abordado junto ao professor, como também auxilia na sua interação com os outros alunos, de maneira a despertar o diálogo, as discussões de ideias diferentes e o trabalho coletivo. Tais fatos são de grande avanço quando se trata do ensino de Física, pois deixa-se “de lado” o tradicionalismo dos cálculos e começa-se a investir em metodologias associadas à tecnologia, em especial aos computadores. Araújo, Veit e Moreira (2016) salientam que a área computacional está crescendo e tendo grande aceitação por parte do alunado.

Os estudantes são impulsionados a utilizar o conhecimento que têm sobre o assunto estudado nas aulas, em atividades realizadas por meio do aparelho, o que provoca grande entusiasmo no aprendiz. Para o discente desenvolver programas, simulações sobre fenômenos físicos, explorar informações contidas em diferentes meios tecnológicos, é preciso que ele busque por informações adequadas, levando-o à construção do seu conhecimento científico.

Por meio das simulações, o estudante pode perceber a relação dos fenômenos físicos com o seu cotidiano. Através dos modelos computacionais de fenômenos da natureza, o aluno altera sua percepção, deixando de entender a física de modo abstrato, iniciando, assim, a reflexão e a busca de novas informações que possam sanar suas dúvidas e melhorar sua compreensão dos fenômenos estudados (VIEIRA; LARA; AMARAL, 2014; BARBOSA *et al*, 2017).

Para Heidemann, Araújo e Veit (2018), a evolução científica é algo fundamental, já que na concepção deles, a teoria e a realidade possuem mediadores, sendo estes, os modelos científicos. A modelagem científica dá subsídio para a

---

<sup>1</sup> Disponível em <<<https://phet.colorado.edu/pt/simulations/filter?sort=alpha&view=grid>>>, acessado em 19/06/2021, às 16h30min.

procura por respostas, para questionamentos sobre acontecimentos do mundo físico.

Diante do que foi apresentado sobre simuladores e MA aplicadas ao ensino de Ciências Naturais, considera-se pertinente o uso de aplicativos em aparelhos de telefonia móvel, enquanto recursos didático-pedagógicos, capazes de resultar em um ensino de Ciências eficiente e eficaz. Dentre os trabalhos que versam sobre essa temática, citamos Vieira, Lara e Amaral (2014), Barbosa *et al* (2017), Sena e Fernandes (2018) e Anastacio e Voelzke (2020).

Para Vieira, Lara e Amaral (2014), o uso de *smartphones* é um forte aliado para um ensino satisfatório, podendo catalisar várias habilidades no aluno. Tais autores, utilizaram o referido aplicativo para mensurar distanciamentos para a intensidade luminosa de maneira mais precisa. Nesse contexto, o aparelho celular móvel pode tornar a atividade mais prazerosa para os estudantes envolvidos.

Já Barbosa *et al* (2017) problematizam o uso do *smartphones* tendo como pano de fundo aulas sobre eletromagnetismo aplicadas no contexto das aulas de Física, no Ensino Médio. Os autores apresentam, como sugestão, o uso do simulador “Oersted”, executado por meio do *smartphone*, pois este é uma ferramenta de interação entre a simulação propriamente dita e os alunos envolvidos na condição de sujeitos de pesquisa. Este trabalho revela, ainda, que o uso do *smartphone*, pedagogicamente orientado, pode torná-los ferramentas laboratoriais portáteis, capazes de render ganhos significativos à aprendizagem dos alunos.

Sena e Fernandes (2018) avançam nessa discussão ao acrescentarem que o uso da tecnologia, especialmente de aparelhos celulares, tem se tornado um recurso de desenvolvimento didático sem questionamento. No entanto, há de se questionar os objetivos didáticos com os quais os *smartphones* são submetidos, para que o resultado seja satisfatório. Estes autores descreveram as contribuições que os aplicativos “Físicas Lab Resistores” fizeram ao ser utilizado como instrumento mediador da aprendizagem, em uma turma de 2º ano do Ensino Médio, nas aulas de Física. Os resultados revelaram que o uso de tecnologias móveis pode sim contribuir significativamente para a abstração do conteúdo teórico da Física, sem desestimular o interesse dos alunos.

Por fim, Anastacio e Voelzke (2020) fazem uma retrospectiva histórica para contextualizar o processo de evolução entre educação e tecnologia. Para os autores, estamos inseridos em uma revolução digital, em que a tecnologia móvel é uma realidade que não se pode desprezar. Nesse sentido, para contribuir com o ensino de

Física, os pesquisadores desenvolveram atividades didáticas, junto aos alunos do Ensino Médio de São Paulo, ao utilizarem o “Socrative” como ferramenta do processo de aprendizagem. A tecnologia móvel, nesse caso, viabilizou o processo, tendo como principal aspecto positivo, o estímulo à participação em aulas virtuais. Em suma, tudo que foi afirmado acima concorda com o que se ouve em sala de aula, quando os estudantes pedem por experimentos: ações mais concretas e visuais para compreender determinados assuntos.

## 2 EFEITO COMPTON

Neste capítulo, discorre-se sobre o Efeito Compton, assunto escolhido para ser discutido junto aos alunos da educação básica. Observa-se alguns fatos relevantes durante a trajetória do descobrimento do que se denomina Efeito Compton. Mostra-se, matematicamente, como Compton conseguiu provar a existência do Espalhamento dos raios X e Gama, bem como, a sua aplicação na sociedade e seu ensino no ambiente escolar.

### 2.1 Aspectos históricos do Efeito Compton

Neste tópico, há alguns aspectos relevantes à história e às aplicações sobre o tema escolhido para estudo, de maneira a nos fornecer maior conhecimento sobre os feitos científicos, ao passo que envolvemos o cientista Arthur Holly Compton, sua trajetória e descobertas científicas, as quais versam a respeito do estudo do raio X. Os aspectos históricos aqui apresentados são embasados em Lima (2006), Lima (2020), Medeiros e Santos (2011), Silva *et al* (2011), Silva e Júnior (2014).

De acordo com Lima (2020), Max von Laue (1879-1960) descobriu a difração dos raios X, o que lhe rendeu um prêmio Nobel de Física, em 1914. Em seus estudos, conseguiu caracterizá-los como um fenômeno ondulatório, pois, quando estudado por Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923), em 1895, não tinham uma caracterização total para serem definidos como fenômeno ondulatórios, uma vez que, as propriedades que estes fenômenos possuem, como: reflexão, difração, refração e interferência ainda não tinham sido associados ao raio X<sup>2</sup>.

Por meio da difração do raio X, Laue consegue caracterizá-lo como fenômeno ondulatório, ao observar que os átomos de cristais formam uma estrutura regular que, ao ser bombardeada por raio X, constituem figuras nos anteparos conforme mostrados na Figura 1.

Laue observou que o comprimento de onda associado aos raios X possuem comprimento de onda bem curto, ou seja, a frequência é bem alta. Os raios X eram

---

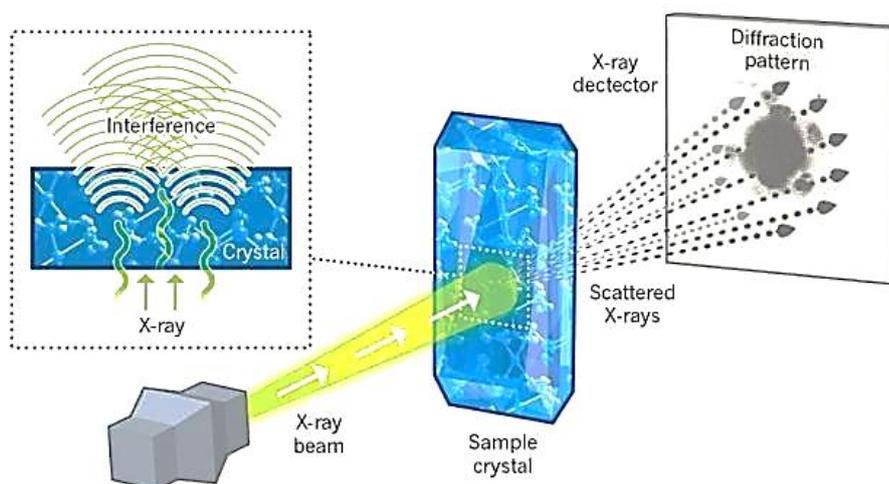
<sup>2</sup>Os raios X são uma forma de radiação eletromagnética ionizante com energia entre 100 eV e 200 keV, maiores que os raios ultravioletas e menores que os raios gama, no entanto, essas fronteiras não são bem definidas (LIMA, 2020). O Raio X é assim nomeado por se tratar de uma incógnita, pois não se tinha certeza se era um fenômeno corpuscular ou ondulatório logo após sua descoberta (PEREIRA, 2012).

caracterizados como mole ou duro, sendo essa definição associada à capacidade de atravessar os materiais (Lima 2006).

Ao corroborar com Lima (2006), Lima (2020) explica que a subdivisão dos raios X ocorrem levando em consideração o seu poder de penetração. Raios tidos como moles possuem energia entre 100 eV e 2 keV, assim os considerados duros possuem energia acima de 2 keV até 200 keV. Quando utilizados em experimentos os raios X duros demonstraram um desenvolvimento mais eficaz pela sua operacionalidade, no entanto, os moles, sofreram grande absorção inclusive pelo ar, sofrendo um atraso em seu desenvolvimento.

Laue associou o raio X mole ao comprimento de onda curto, pois, com esse comprimento, há uma grande frequência associada. Com isso, o raio X conseguia atravessar os objetos facilmente, pois tinha uma energia alta conforme Figura 1. A hipótese de Laue era que o comprimento de onda do raio X seria da mesma ordem que o comprimento de separação dos átomos numa estrutura cristalina. Assim, tendo a mesma ordem de comprimento da radiação incidente e da distância entre os átomos, ocorreria a difração destes raios que é uma característica de um fenômeno ondulatório.

**FIGURA 01 – Ilustração do experimento de Max Von Laue.**



Fonte: <https://www.nature.com/news/crystallography-atomic-secrets-1.14608>

Na Figura 01, cada raio projetado no anteparo está relacionado a um átomo, mais especificamente à sua posição na rede cristalina. Devido à incidência do raio X, ocorre difração deste e cada ponto no anteparo está associado, também, à

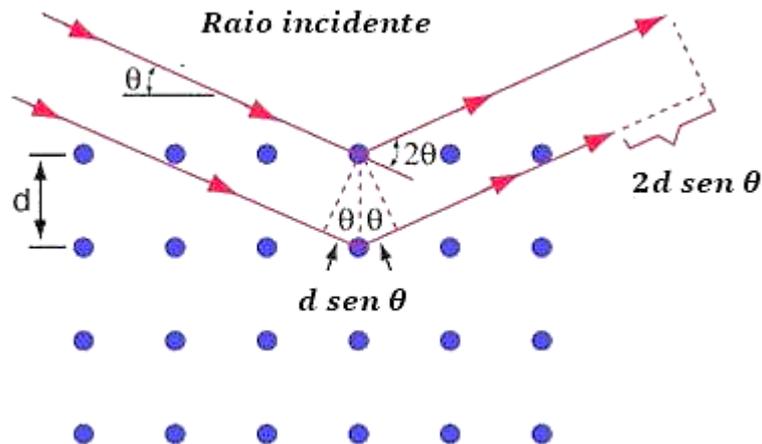
interferência desse raio X, gerando pontos claros, os quais mostram a interferência construtiva e pontos escuros mostrando a interferência destrutiva.

Lima (2006) discorre sobre os estudos de William Lawrence Bragg (1890-1971) sobre interferência, através dos quais foi possível determinar a estrutura cristalina de sólidos organizados, a partir da condição de interferência construtiva desses raios difratados. Bragg determinou uma condição para que ocorra a interferência de raio X difratados, ficando conhecida como Condição de Bragg,

$$2d \operatorname{sen} \theta = n\lambda. \quad (1)$$

Para que ocorra esse tipo de padrão no anteparo, é necessário que a radiação obedeça a condição de Bragg: o comprimento de onda da radiação incidente tem que ser duas vezes a projeção dessa distância entre os átomos da rede cristalina em relação ao ângulo de incidência e reflexão dessa radiação. Conforme é ilustrado na Figura 02.

**FIGURA 02 – Ilustração do espalhamento do raio X por planos cristalinos e a construção de interferência construtiva.**

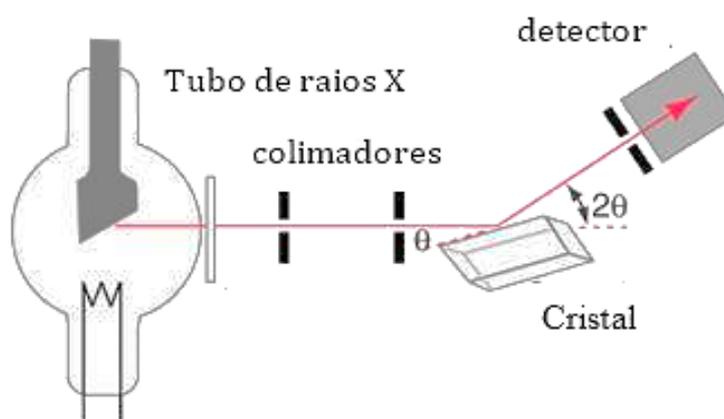


Fonte: Adaptado do site <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/bragg.html>

Segundo Lima (2006), os raios X incidentes irão interagir com o átomo, ocorrendo a reflexão. Todavia, os raios X vão entrar nas camadas mais internas das estruturas cristalinas, podendo-se observar que o caminho percorrido pelo raio incidente, que atinge o átomo. Pela projeção de ângulos, essa distância é  $d \operatorname{sen} \theta$ . Para que haja uma interferência construtiva, o comprimento de onda, associado ao raio X incidentes, deve ser de 2 vezes essa distância. Logo, os raios refletidos vão sair em fase, e quando estes estão na mesma fase, tem-se a interferência construtiva

Na Figura 03, é ilustrada a configuração do experimento que Bragg usou para determinar a condição de difração de raio X. Esta configuração tinha uma fonte de raio x, que era colocada para interagir com a estrutura cristalina. Ao ser espalhada, a radiação passava por um detector de raio X, que variava o ângulo a fim de detectar se havia a formação de uma figura de interferência ou não.

**FIGURA 03 – Experimento de Bragg**



Fonte: Adaptado do site <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/bragg.html>

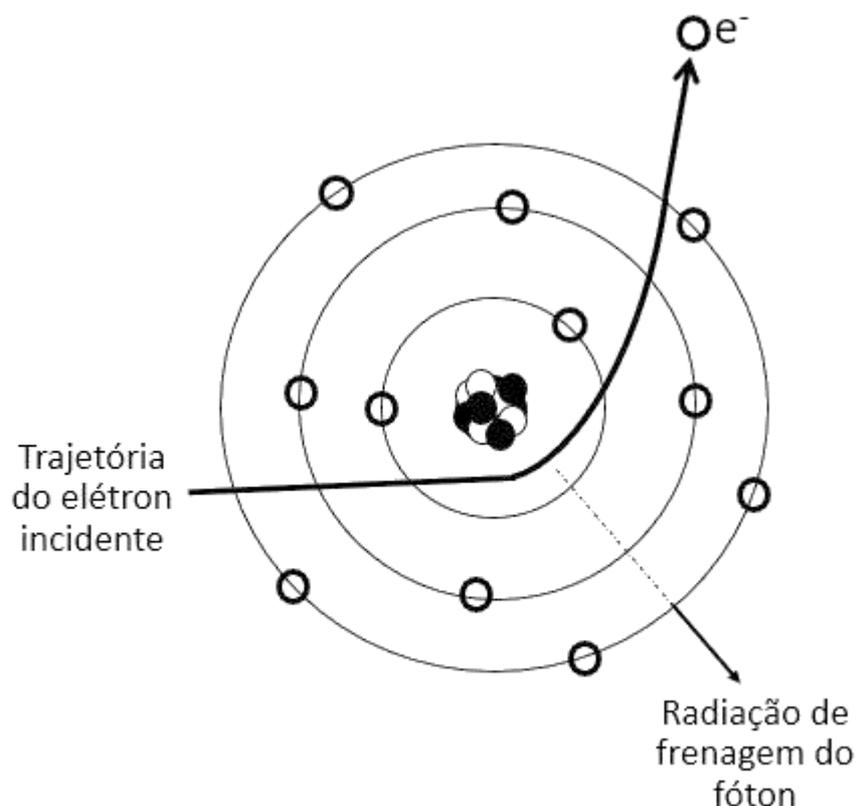
Bragg verificou que, independentemente do sólido cristalino utilizado para interferir com os raios X, havia uma relação entre a intensidade do feixe difratado e o comprimento de onda incidente. Havia uma estrutura que variava continuamente e que tinha picos descontínuos nessa relação entre intensidade e comprimento de onda.

Até esse momento da história, Lima (2006) destaca algumas características no raio X, que seriam explicadas de forma clássica e quântica. Entre elas, é possível citar:

- Espectro contínuo (*Bremsstrahlung*<sup>3</sup>): causado pela frenagem de cargas elétricas no interior do material, representado na Figura 04

<sup>3</sup> Significa radiação de frenagem em alemão, já era conhecida na Física Clássica, no final do século XIX (LIMA, 2006).

FIGURA 04 – Espectro contínuo de raios X



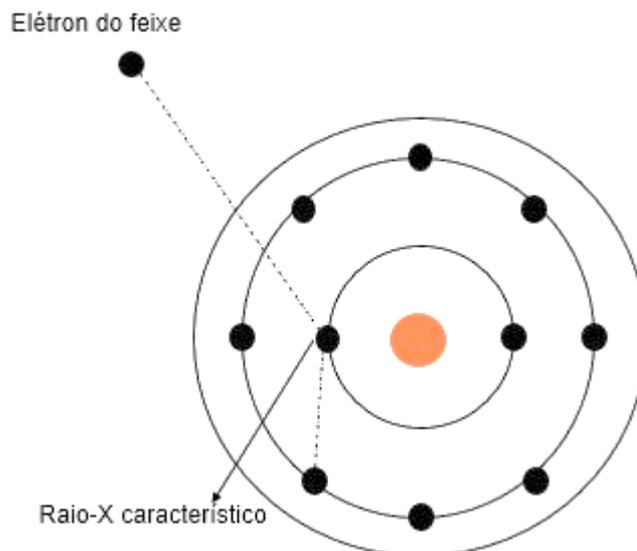
Fonte: Adaptado de Spomberg (2010)

Ao incidir uma radiação de alta frequência numa estrutura cristalina, no caso, o raio X, que possui alta intensidade e frequência, pode-se arrancar elétrons do material. Estes, quando ficam se movimentando dentro da estrutura do material, têm sua trajetória alterada ao sofrerem influência dos núcleos atômicos positivos em sua vizinhança. Toda partícula acelerada ou frenada (que tem aceleração variada) emite radiação continuamente. Por isso, tem-se o espectro contínuo de raio X, que é causado pela frenagem de elétrons no interior do material cristalino. Isso pode ser explicado com a física clássica.

- Espectro discreto (característico ou fluorescente)<sup>4</sup>: causado pela ionização do material, devido a radiação incidente que retira elétrons internos dos átomos, representado na Figura 05.

<sup>4</sup> Esse termo só foi aparecer, em 1913, com os estudos sobre o átomo proposto por Bohr (LIMA 2006).

FIGURA 05 – Emissão do raio X característico



Fonte: Adaptado de Lima (2006)

Os espectros discretos são chamados de característicos, porque dependem da natureza de cada material. É também chamado de fluorescente, porque a causa dele é a ionização do material.

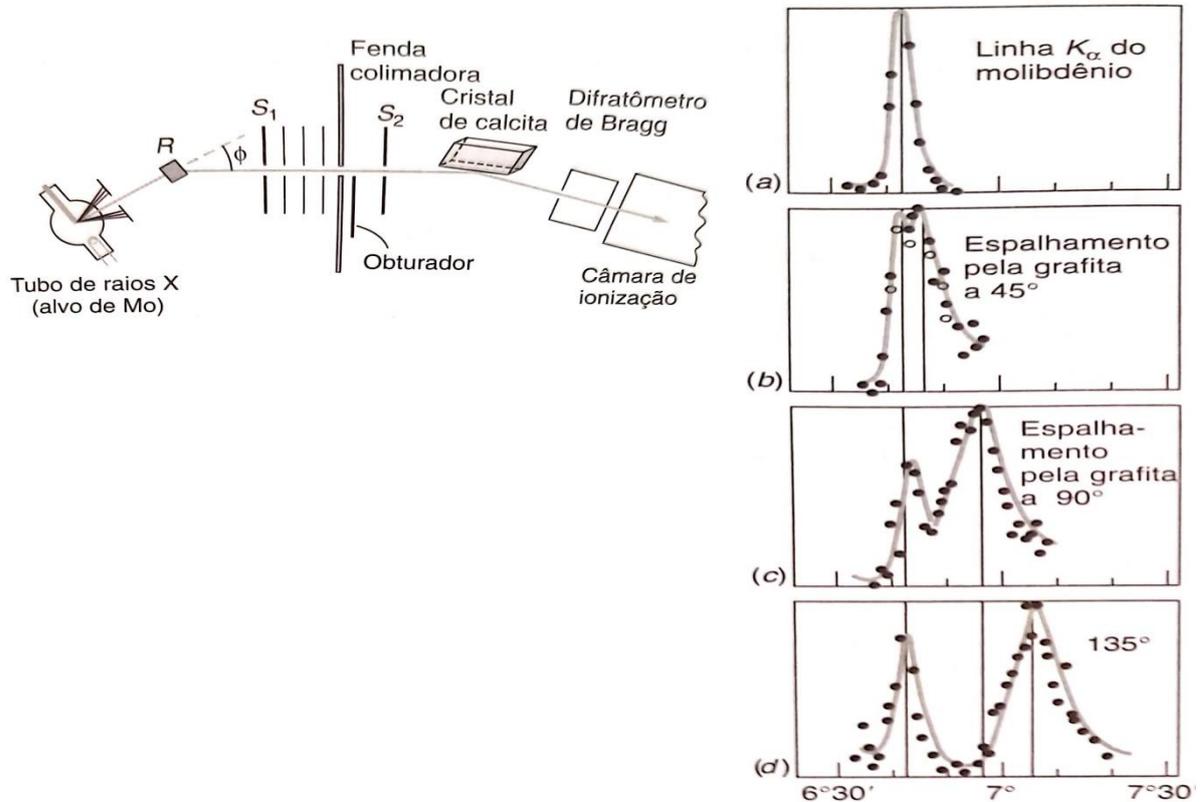
- Comprimento de onda de corte ou comprimento de onda mínimo ( $\lambda_{mim}$ ): não depende do material alvo, mas sim da energia dos elétrons.

Portanto, não é qualquer comprimento de onda incidente no material que vai promover intensidade nesse espectro de raio X difratado. É possível aumentar o comprimento de onda da radiação incidente e não verificar nada. Entretanto, a partir de um determinado comprimento de onda, ocorre a detecção de uma certa intensidade desse raio X difratado. Quando há uma fonte de energia bastante energética, é possível associar esse comprimento de onda à frequência, pois, diminuindo o comprimento de onda, aumenta-se a energia e a frequência dos raios difratados.

Lima (2020) complementa tais fatos científicos, ao destacarem dois grupos experimentais que investigavam a natureza dos raios X no início do século XX, encabeçados por Peter Debye (1884 – 1966) e por Arthur Holly Compton (1892-1962), os quais obtiveram medidas semelhantes com relação à variação do comprimento de onda do feixe incidente e do feixe espalhado.

O aparato experimental utilizado por ambos os grupos permitia verificar o comprimento de onda dos raios X da fonte, antes de interagirem com a estrutura cristalina. Se o ângulo  $\theta$  na condição de Bragg, dada pela Eq.01, for igual a zero, obtém-se um pico de intensidade correspondente ao comprimento de onda da radiação incidente, que é o feixe primário, conforme pode ser observado na Figura 06.

**FIGURA 06 – Ilustração do experimento realizado por Compton.**



Fonte: Adaptada do livro de Física Moderna, Tipler, Llewellyn (2017)

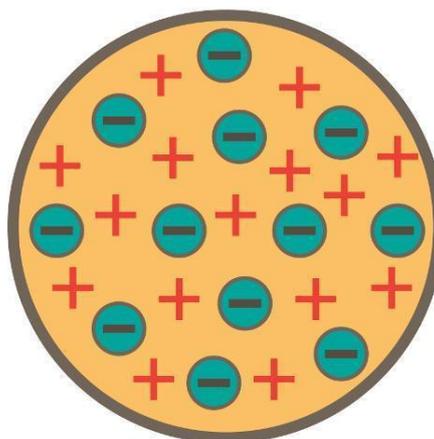
Todavia, a partir do momento que esse ângulo  $\theta$  começa a variar, começam a aparecer picos de intensidade secundários que ficam mais evidentes à medida que o ângulo  $\theta$  aumenta, como ilustra a Figura 06 (a, b, c, d). Por outro lado, a teoria clássica não conseguiria explicar esse deslocamento no comprimento da onda espalhada. Existia, experimentalmente, tal diferença, mas, até o início da segunda década do século XX, não havia explicação para tal fato.

Quando se fala sobre interação da radiação com a matéria faz-se necessário abordar a teoria que explicava o espalhamento. Nesse caso, Thomson tentou explicar o espalhamento elástico, o qual é conhecido como clássico. Segundo Lima (2006), nele não havia variação na energia, quando comparada a espalhada e a incidente,

dessa forma, não haveria variação de comprimento de onda.

O modelo atômico, proposto por Thomson, foi de “pudim de ameixa”, no qual os elétrons estariam em posição de equilíbrio, incrustados, variando em torno da posição de equilíbrio e o núcleo seria positivo, conforme ilustrado na Figura 07.

**FIGURA 07 – Modelo atômico proposto por Thomson.**



Fonte: <https://brasile scola.uol.com.br/quimica/o-atomo-thomson.htm>

De acordo com Lima (2006), de acordo com o modelo de espalhamento descrito por Thomson não haveria muita interação da radiação com a matéria, não tendo, então, um espalhamento significativo, em que seja possível verificar uma variação significativa entre os comprimentos de onda dos raios incidentes e espalhados.

Uma maneira de se verificar o espalhamento é por meio da Seção Cruzada de Espalhamento, ou seja, a seção de choque, sendo ela diferencial ou integral. Ela serve para quantificar a quantidade de energia incidente que é espalhada, de acordo com o ângulo sólido, no qual esse espalhamento ocorre (TIPLER,2017). Exemplificando: Quando se tem uma radiação incidente que atinge um objeto e é espalhada, é possível relacionar a área de choque e o ângulo de espalhamento, com a radiação espalhada. De acordo com Thomson, a radiação espalhada pela matéria mantém o comprimento de onda da radiação incidente. Entretanto, isso não era observado experimentalmente, conforme evidenciado pelos experimentos de Debye e Compton.

Lima (2006) assegura que o espalhamento elástico de Thomson é real quando se trata da incidência dos raios X moles, pois, quando a energia associada ao raio incidente era baixa, menos variação no comprimento de onda era observado, e,

quando essa energia era alta, havia uma maior variação no comprimento de onda dos raios difratados ou espalhados. Então, ao analisar essa última condição de espalhamento de acordo com o modelo de Thomson, não é possível ter uma conservação de energia e de *momentum* simultâneos.

De acordo com Silva *et al.* (2011), Arthur Holly Compton nasceu em 10 de setembro de 1892, na cidade de Wooster, estado de Ohio, nos Estados Unidos. Em 1913, recebeu o título de Bacharel em Ciências pela Universidade de Wooster. No ano seguinte, concluiu o mestrado na Universidade de Princeton, em Nova Jersey, e, em 1916, Compton formou-se doutor na mesma instituição, focando nos estudos da difração e do espalhamento dos raios X pela matéria.

Nesse contexto, entre 1916 e 1922, Compton começou a estudar mais a fundo a difração de raios X por estruturas cristalinas, buscando uma relação entre a intensidade dos raios X espalhados e os seus ângulos de reflexão no cristal, tentando, inicialmente, explicar essas discrepâncias no espalhamento do raio X com a física clássica.

Ainda segundo os autores supracitados, em 1930, Compton deu início a um novo programa de investigação, o qual visava estudar os raios cósmicos. Ele realizou várias expedições pelo mundo, almejando medir o efeito da latitude sobre os raios cósmicos. Essas expedições foram fundamentais para concretizar as hipóteses de Compton sobre a natureza dos raios X. Em 1941, ele passou a manifestar interesse em pesquisas relacionadas ao urânio, fator este que o tornou presidente da comissão do urânio da Academia Nacional de Ciências Norte-Americana.

Silva e Junior (2014) também problematizaram a trajetória de Arthur Holly Compton na descoberta do espalhamento dos raios X. Essa pesquisa proporcionou a Compton um prêmio Nobel, em 1927, e contribuiu na intensificação das discussões sobre teoria quântica. Sinteticamente, “a grande síntese da mecânica quântica e da eletrodinâmica quântica, por exemplo, foi imposta à física pelos experimentos cruciais do efeito Compton” (SILVA; JÚNIOR, 2014, p. 02). A partir dessas experimentações, as indagações tornaram-se mais fortes, levando outros pesquisadores a direcionarem seus esforços para a teoria quântica.

Ainda conforme Silva e Junior (2014), Compton tentou explicar o espalhamento dos raios X por meio da teoria clássica, o que não surtiu o efeito desejado. No final de 1922, o cientista optou pela teoria quântica, decorrendo disso as explicações necessárias à compreensão do efeito Compton. Logo, “Compton modificou o seu

programa de pesquisa indo da teoria semiclássica à quântica” (SILVA; JÚNIOR, 2014, p.02). Ao finalizar seu projeto experimental, e observar a relação entre os resultados experimentais e a teoria quântica, Compton teve a certeza de que suas fórmulas se relacionavam à experimentação, confirmando, assim, que o espalhamento dos raios X era um fenômeno quântico. A descoberta do efeito Compton trouxe uma grande indagação sobre a radiação ser vista como onda eletromagnética (na teoria clássica) e como partícula (na teoria quântica).

Dessa forma, o referido físico encontrou indícios de experiências de caráter ondulatório e corpuscular nos raios X observados. Isso, por sua vez, complementaria estudos anteriores, já que as pesquisas acerca dos raios X propunham possibilidades investigativas explicadas por intermédio da hipótese do *quantum* de radiação, ao contrário das hipóteses anteriores que sustentavam a descrição da radiação como um fenômeno eletromagnético ondulatório clássico, principalmente, devido aos fenômenos de interferência e reflexão deste tipo de radiação (JÚNIOR; SILVA, 2014).

Apesar dessa comprovação, alguns pesquisadores não concordavam com os resultados e pensamentos de Compton, como foi o caso do físico William Duane (1872-1935), que não aceitava o uso da teoria quântica para explicar o espalhamento de radiação, apesar do mesmo já ter utilizado a teoria do *quantum* em suas pesquisas anteriores. Silva e Júnior (2014) discorrem que Duane, ao buscar resultados que proovessem o contrário da teoria de Compton, escreveu a Arnold Sommerfeld (1968-1951), contando-lhe suas angústias e, com isso, obteve, como resposta, uma carta de Sommerfeld, que o surpreendeu ao dizer que esteve com Compton em seu laboratório e se convenceu das fundamentações que o pesquisador utilizou.

O efeito, ou espalhamento Compton, se estabelece definitivamente, quando Arthur Holly Compton explicou que a colisão entre o elétron e o fóton seguia as leis de conservação de energia e *momentum*, que constavam na Teoria da Relatividade Restrita de Einstein. Tem-se, então, a natureza corpuscular da luz, confirmada em 1923.

Medeiros e Santos (2011) definem o efeito Compton como algo que acontece entre um fóton e um elétron fracamente ligado ao átomo, ou seja, que está mais externo a ele. Em termos físicos, é possível considerar que:

o elétron é ejetado e o fóton é espalhado com energia igual à diferença entre a energia do fóton incidente e a energia adquirida pelo elétron, o fóton espalhado move-se em direção diferente da inicial. O fóton incidente é absorvido, mas sua energia vai aparecer dividida entre o elétron e um fóton de menor energia (MEDEIROS; SANTOS 2011 p.18).

Por meio dessas observações, Compton prosseguiu na tentativa de explicar o motivo dos acontecimentos. Anos após o início de sua pesquisa, o cientista explicou o acontecimento ao utilizar a teoria quântica da matéria e a relatividade restrita, áreas que compõem o que hoje chamamos de FM.

## 2.2 Aspectos Matemáticos do Efeito Compton

O Efeito Compton é o espalhamento de um fóton por uma partícula carregada, geralmente é um elétron que está livre da interação com o potencial nuclear. Isso pode ser justificado pelo fato de considerarmos a radiação do fóton incidente sendo muito mais intensa do que o potencial de interação entre o elétron e o átomo. Esse espalhamento resulta da diminuição da energia do fóton espalhado, ou seja, a energia do fóton espalhado torna-se menor que a do fóton incidente.

Há também, no momento do contato, uma transferência de *momentum* da radiação para a matéria e no instante de espalhamento, tanto o fóton quanto o elétron formam ângulos de espalhamento em relação ao eixo de incidência, sendo  $\theta$  para o fóton e  $\phi$  para o elétron, conforme ilustrado na Figura 08.

Para abordar os aspectos matemáticos, utiliza-se, como referência, os trabalhos de Caruso e Oguri (2016). De acordo com os referidos autores, Compton afirmava que havia uma radiação monocromática associada ao fóton, que se comportava como uma partícula de massa de repouso zero, ao se movimentar com a velocidade da luz no vácuo. Matematicamente, é possível expressar a energia desse fóton, de acordo com a hipótese de Planck, como:  $\epsilon_\gamma = h\nu$ , onde  $h$  é a constante de Planck, que vale  $6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$  e  $\nu$  é a frequência associada ao fóton. Além disso, essa equação mostra que a Energia do fóton está relacionado com a frequência da radiação, ou seja, grandezas que são diretamente proporcionais, devido a constante de Planck. Se a frequência do fóton incidente for aumentada, aumentará a energia dos fótons incidentes.

Usando a relação entre a Energia total relativística, o momento linear e a energia de repouso da partícula, temos:

$$E^2 = (PC)^2 + (E_0)^2 \quad (2)$$

Onde  $E$  é a Energia total relativística da partícula,  $P$  é o momento linear da partícula,  $C$  é a velocidade da luz,  $E_0$  é a energia de repouso da partícula. Como o fóton não tem energia de repouso, ou seja, sempre está em movimento  $E_0 = 0$ .

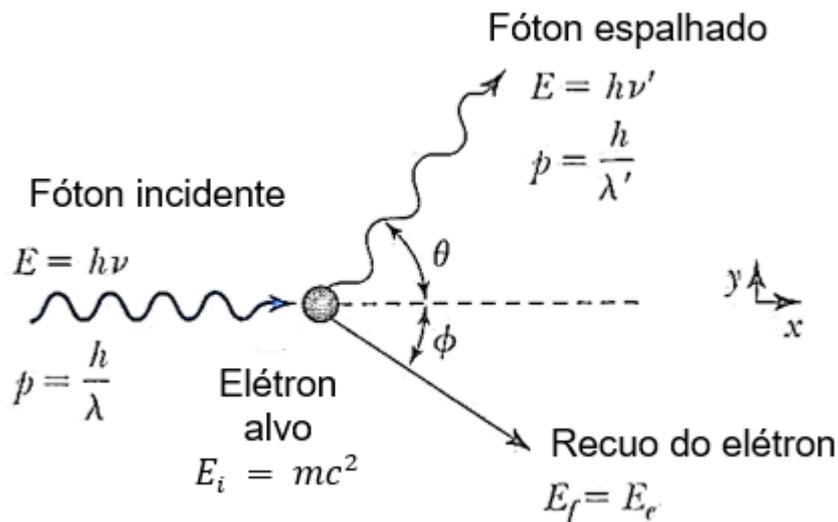
Podemos chegar na equação do seu momento linear através da equação 2, assim tem-se:

$$\vec{p}_\gamma = \frac{E_\gamma}{c} \hat{k} = \frac{h\nu}{c} \hat{k} = \frac{h}{\lambda} \hat{k}, \quad (3)$$

sendo  $\lambda$  o comprimento de onda do fóton incidente.

Compton observou, por intermédio de seus experimentos, que o comprimento de onda do raio incidente era menor que o comprimento de onda dos raios espalhados, suas conclusões eram diferentes da teoria de Thomson, no que se refere ao espalhamento dos raios X. Seus resultados estavam em conformidade com a recente Teoria Quântica da interação da radiação com a matéria, na qual o cientista descreveu duas componentes para a radiação espalhada, conforme a ilustração do fenômeno disposta na Figura 08.

**FIGURA 08 – Ilustração do Espalhamento Compton**



Fonte: adaptação do site edisciplinas.usp.br

A observação de Compton é explicada por Caruso e Oguri (2016, p.327), ao afirmarem que “a relação entre  $\lambda'$  e  $\lambda$  depende do ângulo  $\theta$ , entre a direção da radiação espalhada e a direção da incidente, e é dada pela fórmula de Compton:  $\lambda' = \lambda + A \text{sen}^2 \frac{\theta}{2}$ .” Para explicar a existência da constante A. Compton utilizou alguns aspectos da física clássica, por meio dos quais o espalhamento poderia ser explicado como uma colisão elástica entre um elétron livre e um fóton, aplicando-se a

conservação de energia relativística e *momentum*.

É possível observar, na Figura 08, que a energia do fóton e do elétron livre se modificou após a interação entre estes. Tais modificações podem ser descritas pelas seguintes equações matemáticas para o antes e depois da interação, conforme Caruso e Oguri (2016).

Fazendo a análise do fóton e do elétron livre antes da colisão, tem-se que:

Como o fóton possui uma energia total inicial e nela está relacionada o comprimento de onda e frequência ( $\lambda$ ,  $\nu$ ) e como o fóton não possui energia de repouso ( $E_0 = 0$ ), ou seja, sempre essa partícula estará em movimento. Assim utilizando a equação da Energia relativística, pode-se chegar na energia do fóton antes da interação com o elétron livre, conforme as expressões abaixo:

$$E^2 = (PC)^2 + (E_0)^2, \text{ e o Momento do fóton que é } P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$$

e as condições discutidas acima, chega-se na equação de sua energia inicial antes de sofrer a interação com o elétron livre, obtendo a equação 4:

$$E_\gamma = h\nu = \frac{hc}{\lambda}. \quad (4)$$

Pode-se perceber na equação 4, que a única componente de sua energia está associada a frequência de radiação.

Para o elétron livre em repouso, ou seja, aquele que está afastado do núcleo e de outros elétrons ao seu redor. Podemos fazer a mesma análise que foi feita para o fóton antes da interação. Assim, utilizando a relação da energia total relativística, do momento linear e a energia de repouso, tem-se:

$E^2 = (PC)^2 + (E_0)^2$ , como o elétron está em repouso o seu momento linear será igual a zero, tendo a sua energia de repouso, logo será  $E_0 = m_0 \cdot c^2$ .

Com isso a energia total relativística antes é a soma da energia total relativística do fóton e do elétron livre em repouso, conforme a equação abaixo:

$$E_{antes} = E_\gamma + E_0 = h\nu + m_0 \cdot c^2 \quad (5)$$

Em que  $E_\gamma$  = Energia do fóton incidente e  $m_0 c^2$  = Energia do elétron antes da colisão;

Faz-se agora para depois da interação, tanto para o fóton e elétron livre. Assim usaremos a expressão da energia total relativística, do momento linear e da energia em repouso para ambos, tem-se:

$$E_{depois} = hv' + \sqrt{(P_e \cdot c)^2 + (m_{e0} \cdot c^2)^2} \quad (6)$$

Onde,

$$E'_{\gamma} = hv' = \text{Energia total do fóton espalhado}$$

$E_e = \sqrt{(P_e \cdot c)^2 + (m_{e0} \cdot c^2)^2}$  = Energia total do elétron espalhado após a colisão.

Usando a conservação da energia relativística, permanece-se assim:

$$E_{antes} = E_{depois}$$

$$hv + m_0 \cdot c^2 = hv' + \sqrt{(P_e \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2}$$

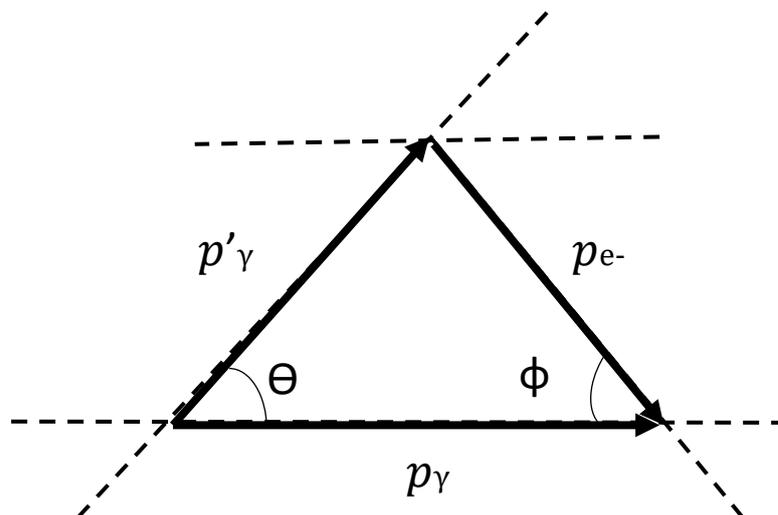
$$(hv + m_0 \cdot c^2 - hv')^2 = (P_e \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2$$

$$(h \cdot v)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2 + (hv')^2 + 2(hvm_0c^2 - hvhv' - m_0 \cdot c^2 hv') = (P_e \cdot c)^2 + (m_0 \cdot c^2)^2$$

$$(h \cdot v)^2 + (hv')^2 + 2(hvm_0c^2 - hvhv' - m_0 \cdot c^2 hv') = (P_e \cdot c)^2 \quad (7)$$

Como no experimento de Compton, considera-se uma colisão elástica bidimensional, se pode usar a conservação do momento linear do fóton com o elétron livre. Conforme a Figura 9 abaixo, tem-se a representação dos vetores momento linear do fóton e do elétron livre.

**FIGURA 09 – Conservação do *Momentum* para o efeito Compton.**



De onde, tem-se:  $p'_\gamma$  = Momento linear do fóton após a colisão;  $p_\gamma$  = Momento do fóton antes da colisão e  $p_e$  = Momento do elétron livre após a colisão.

Podemos escrever o *momentum* apresentado na Figura 9, por meio da lei dos cossenos, em que:

$$p_e^2 = p'^2_\gamma + p^2_\gamma - 2p'_\gamma p_\gamma \cos \theta, \quad (8)$$

Lembrando, que o momento do fóton antes da interação com elétron é  $p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$ , podemos perceber que essa expressão é a razão da energia do fóton incidente ( $E_\gamma$ ) com a velocidade da luz ( $c$ ). Porém essa energia incidente ( $E_\gamma$ ) está relacionada com a frequência da radiação (fóton), segundo a famosa equação de Planck:

$$E_\gamma = h\nu$$

Assim, temos a seguinte demonstração:

$$\begin{aligned} p_e^2 &= \left(\frac{E'_\gamma}{c}\right)^2 + \left(\frac{E_\gamma}{c}\right)^2 - 2\frac{E'_\gamma}{c} \cdot \frac{E_\gamma}{c} \cdot \cos \theta \\ p_e^2 c^2 &= \left(\frac{h}{\lambda'}\right)^2 \cdot c^2 + \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \cdot c^2 - 2 \cdot \left(\frac{hc}{\lambda'}\right) \left(\frac{hc}{\lambda}\right) \cos \theta \\ p_e^2 c^2 &= (h \cdot \nu)^2 + (h\nu')^2 - 2(h \cdot \nu)(h\nu') \cos \theta \end{aligned} \quad (9)$$

Quando se iguala as equações (7) e (9), resultantes da conservação do *momento linear e Energia*, temos:

$$\begin{aligned} h\nu m_0 \cdot c^2 - h\nu h\nu' - m_0 c^2 h\nu' &= -h\nu' h\nu \cos \theta \\ m_0 c^2 (\nu - \nu') &= h\nu \nu' (1 - \cos \theta) \\ \frac{\nu - \nu'}{\nu \nu'} &= \frac{h}{m_0 \cdot c^2} (1 - \cos \theta) \\ \frac{c}{\nu'} - \frac{c}{\nu} &= \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

Como a velocidade da luz ( $c$ ) é  $c = \lambda\nu$ , logo chegaremos na equação de Compton abaixo:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} \cdot (1 - \cos \theta) \quad (10)$$

Pode-se reescrever a expressão anterior usando o método da bissecção de arcos, onde  $\sin \theta = \sqrt{\frac{1 - \cos \theta}{2}}$ . Ao elevar os dois membros ao quadrado temos:

$$\begin{aligned} \sin^2 \frac{\theta}{2} &= \frac{1 - \cos \theta}{2} \\ 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} &= 1 - \cos \theta. \end{aligned} \quad (11)$$

Substituindo (11) em (10), obtêm-se:

$$\lambda' - \lambda = \left( \frac{h}{m_0 c} \right) \cdot 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

Portanto, a equação do deslocamento de Compton pode ser escrita como:

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = A 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \quad \text{ou} \quad \Delta \lambda = \lambda' - \lambda = A(1 - \cos \theta), \quad (13)$$

onde  $A = \left( \frac{h}{m_0 c} \right)$ , podendo ser reescrita por alguns autores como:

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \theta), \quad (14)$$

onde,  $\lambda_c = \left( \frac{h}{m_0 c} \right)$  é chamado de comprimento de onda Compton.

Com este experimento, Compton obteve os seguintes resultados:

1 – Os raios X espalhados tem um comprimento de onda final  $\lambda'$  é maior que o comprimento de onda inicial  $\lambda$ .

2 – A diferença entre os comprimentos de onda  $\Delta \lambda = \lambda' - \lambda$  depende do ângulo de espalhamento  $\theta$  e não das propriedades da substância, nem do comprimento de onda da radiação incidente.

3 – O comprimento de onda  $\lambda_c$  é constante para todas as substâncias e tem valor de  $2,45 \cdot 10^{-12}$  metros. Assim,  $\lambda_c$  recebe o nome de comprimento de onda Compton.

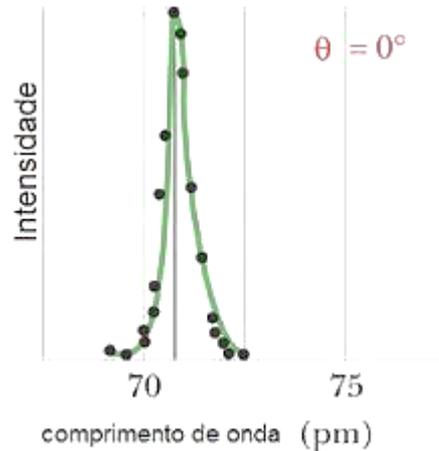
As intensidades dos raios X espalhados foram medidos como função dos comprimentos de onda, para vários ângulos  $\theta$  de espalhamento. Assim foram obtidos os seguintes resultados.

Para ângulo de espalhamento  $\theta$  igual a ZERO, como o  $\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$ , tem-se:

$$\begin{aligned} \Delta \lambda &= \lambda' - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos \theta) \\ \Delta \lambda &= \lambda' - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos 0) \\ \Delta \lambda &= \lambda' - \lambda_0 = \lambda_c (1 - 1) \\ \Delta \lambda &= 0 \Rightarrow \lambda' = \lambda_0. \end{aligned} \quad (15)$$

Nesta situação, da equação (15) observa-se que não houve espalhamento da radiação incidente, ou seja, ela não interagiu com a partícula. Nesse caso, tem-se o  $\Delta\lambda$  em seu valor mínimo. Conforme observado na Figura 10.

**FIGURA 10 – Representação gráfica do  $\Delta\lambda$  em seu valor mínimo.**



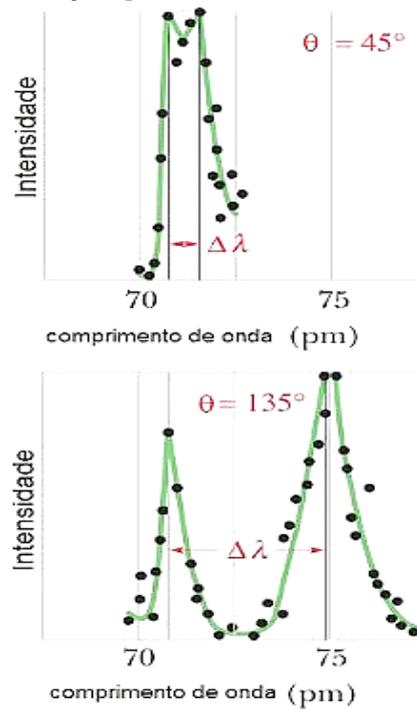
Fonte: [http://www.if.ufrgs.br/computador\\_ensino\\_fisica/hotpotatoes/hotpotatoes\\_exemplo.htm](http://www.if.ufrgs.br/computador_ensino_fisica/hotpotatoes/hotpotatoes_exemplo.htm)

Quando se trata de  $\Delta\lambda$  em seu valor máximo, obtém-se a seguinte situação: o ângulo de espalhamento  $\theta$  deve ser igual a  $180^\circ$ , pois  $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$ .

$$\begin{aligned}\Delta\lambda &= \lambda' - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos \theta) \\ \Delta\lambda &= \lambda' - \lambda_0 = \lambda_c (1 - \cos 180^\circ) \\ \Delta\lambda &= \lambda_c (1 - (-1)) \\ \Delta\lambda &= 2\lambda_c = \frac{2h}{mc}\end{aligned}\tag{16}$$

Como observado no espectrômetro, o valor máximo detectado é  $\Delta\lambda = 2\lambda_c$ . Embora o feixe incidente consista em um comprimento de onda ( $\lambda_0$ ), os raios X espalhados tem máximos de intensidade em dois comprimentos de onda. Um dos comprimentos de onda era o próprio  $\lambda_0$  incidente e o outro, representado por  $\lambda'$ , é maior que  $\lambda_0$ .

FIGURA 11 – Representação gráfica do  $\Delta\lambda$  em seu valor máximo.

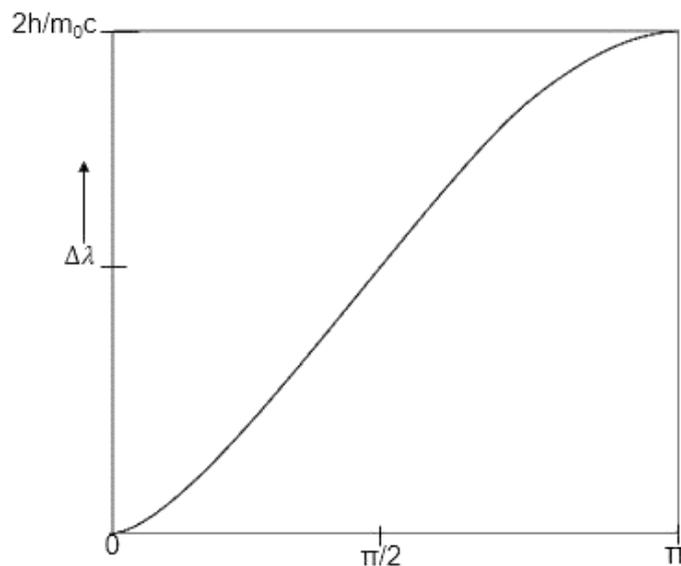


Fonte: [http://www.if.ufrgs.br/computador\\_ensino\\_fisica/hotpotatoes/hotpotatoes\\_exemplo.htm](http://www.if.ufrgs.br/computador_ensino_fisica/hotpotatoes/hotpotatoes_exemplo.htm)

As variações da equação de Compton (equação 14), em função do ângulo de espalhamento são apresentadas na Figura 12:

$$\begin{aligned} \theta = 0^\circ &\Rightarrow \Delta\lambda = 0 \\ \theta = 180^\circ &\Rightarrow \Delta\lambda = \frac{2h}{mc} \end{aligned} \quad (17)$$

FIGURA 12 – Gráfico do valor máximo e mínimo de  $\Delta\lambda$ .



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/efeito-compton/>

Observando a Figura 12, pode-se perceber que o ângulo  $\theta$  alcança valor máximo em  $\pi$  e valor mínimo em  $0^\circ$ . Assim como  $\Delta\lambda$  possui seu valor mínimo em 0 e máximo em  $\frac{2h}{m_0c}$ .

Observando a Figura 8, na qual ocorre uma ilustração do efeito Compton, percebe-se que  $\phi, \theta$  e  $\Delta\lambda$  se relacionam. Com base nisso, através da relação trigonométrica: potências de Seno e Cosseno, temos:

$$\text{sen}^2(\theta) = 1 - \frac{\text{cos}}{2}(2\theta) \Rightarrow 1 - \text{cos}(2\theta) = 2\text{sen}^2(\theta)$$

Quando realizado a relação de Compton, tem-se:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \text{cos } \theta) = \left(\frac{2h}{mc}\right) \text{sen}^2\frac{\theta}{2}, \quad (18)$$

onde a variação do comprimento de onda pode ser definida pelo seu valor máximo  $\frac{2h}{mc}$  multiplicado pelo seno ao quadrado da metade do ângulo de espalhamento ( $\theta$ ).

Utilizando a lei do Seno e do Cosseno para o ângulo  $\phi$  apresentado na Figura 8, tem-se, respectivamente:

$$\frac{P'_\gamma}{\text{sen } \phi} = \frac{P}{\text{sen } \theta} \quad \therefore \quad \text{sen } \phi = \frac{P'_\gamma}{P} \text{sen } \theta$$

$$\begin{aligned} P_\gamma'^2 &= P^2 + P_\gamma^2 - 2P \cdot P_\gamma \text{cos } \phi \\ -2P \cdot P_\gamma \text{cos } \phi &= P_\gamma'^2 - P^2 - P_\gamma^2 \\ 2P \cdot P_\gamma \text{cos } \phi &= P^2 + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2 \\ \text{cos } \phi &= \frac{P^2 + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2}{2P \cdot P_\gamma} \end{aligned}$$

como  $\text{cotg } \phi = \frac{\text{cos } \phi}{\text{sen } \phi}$  virá:

$$\text{cotg } \phi = \frac{P^2 + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2}{2P \cdot P_\gamma} \cdot \frac{P}{P'_\gamma \text{sen } \theta}$$

Finalmente:

$$\text{cotg } \phi = \frac{P^2 + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2}{2P_\gamma P'_\gamma \text{sen } \theta} = \left(\frac{P^2 + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2}{2P'_\gamma}\right) \cdot \left(\frac{1}{P_\gamma \text{sen } \theta}\right) \quad (19)$$

Usando a lei do cosseno para o ângulo  $\theta$  virá:

$$P^2 = P_\gamma'^2 + P_\gamma^2 - 2P_\gamma \cdot P'_\gamma \text{cos } \theta$$

$$\begin{aligned}
\cotg \phi &= (P'_\gamma + P_\gamma^2 - 2P_\gamma \cdot P'_\gamma \cos \theta + P_\gamma^2 - P_\gamma'^2) \cdot \left( \frac{1}{P_\gamma \cdot \text{sen } \theta} \right) \\
\cotg \phi &= \frac{2P_\gamma^2 - 2P_\gamma P'_\gamma \cos \theta}{2P'_\gamma P_\gamma \text{sen } \theta} \\
\cotg \phi &= \frac{P_\gamma^2 - P_\gamma P'_\gamma \cos \theta}{P'_\gamma P_\gamma \text{sen } \theta} = \frac{P_\gamma (P_\gamma - P'_\gamma \cos \theta)}{P_\gamma P'_\gamma \text{sen } \theta} \\
\cotg \phi &= \frac{P_\gamma - P'_\gamma \cos \theta}{P'_\gamma \text{sen } \theta}, \tag{20}
\end{aligned}$$

lembrando que  $P_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$  e  $P'_\gamma = \frac{E'_\gamma}{c}$ , tem-se:

$$\cotg \phi = \frac{\frac{E_\gamma}{c} - \frac{E'_\gamma}{c} \cos \theta}{\frac{E'_\gamma}{c} \text{sen } \theta} \quad \therefore \cotg \phi = \frac{E_\gamma - E'_\gamma \cos \theta}{E'_\gamma \text{sen } \theta}.$$

Logo,

$$\cotg \phi = \frac{E_\gamma - E'_\gamma \cos \theta}{c} \cdot \frac{c}{E'_\gamma \text{sen } \theta} = \left( \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \cos \theta \right) \frac{1}{\text{sen } \theta}. \tag{21}$$

Rescrevendo a relação de Compton (equação 14), virá:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} - 1 = \frac{h}{mc\lambda} (1 - \cos \theta)$$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = 1 + \frac{h}{mc\lambda} (1 - \cos \theta); \quad E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = 1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos \theta) = \left( \frac{2h}{mc} \right) \text{sen}^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\frac{E_\gamma}{E'_\gamma} = \frac{\lambda'}{\lambda} = 1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos \theta) = \left( \frac{2h}{mc} \right) \text{sen}^2 \frac{\theta}{2}. \tag{22}$$

Entende-se que:

$$\cotg \phi = \frac{P_\gamma - P'_\gamma \cos \theta}{P'_\gamma \text{sen } \theta} = \left( \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \cos \theta \right) \frac{1}{\text{sen } \theta}$$

$$\cotg \phi = \left( \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \cos \theta \right) \frac{1}{\text{sen } \theta} \Rightarrow \cotg \phi \cdot \text{sen } \theta = \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \cos \theta$$

$$\frac{E_\gamma}{E'_\gamma} = \cotg \phi \cdot \text{sen } \theta + \cos \theta. \quad (23)$$

Assim,

$$\frac{E_\gamma}{E'_\gamma} = \cotg \phi \cdot \text{sen } \theta + \cos \theta = \frac{\lambda'}{\lambda} = 1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos \theta) = \left( \frac{2h}{mc} \right) \text{sen}^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\cotg \phi = \left[ 1 + \frac{h\nu}{mc^2} (1 - \cos \theta) - \cos \theta \right] \cdot \frac{1}{\text{sen } \theta}$$

$$\cotg \phi = \frac{1}{\text{sen } \theta} + \frac{h\nu}{mc^2 \text{sen } \theta} (1 - \cos \theta) - \frac{\cos \theta}{\text{sen } \theta}$$

$$\cotg \phi = \frac{1}{\text{sen } \theta} + \frac{h\nu}{mc^2 \text{sen } \theta} - \frac{h\nu \cos \theta}{mc^2 \text{sen } \theta} - \frac{\cos \theta}{\text{sen } \theta}$$

$$\cotg \phi = \left( 1 + \frac{h\nu}{mc^2} \right) \cdot \frac{(1 - \cos \theta)}{\text{sen } \theta}. \quad (24)$$

Utilizando a identidade trigonométrica

$$\text{tg } \frac{x}{2} = \frac{1 - \cos x}{\text{sen } x} = \frac{\text{sen } x}{1 + \cos x}$$

obtém-se

$$\cotg \phi = (1 + \alpha) \text{tg } \frac{\theta}{2}, \quad \text{onde } \alpha = \frac{h\nu}{mc^2}. \quad (25)$$

Assim, encontra-se a relação entre os ângulos  $\phi$  e  $\theta$ .

Após desenvolver, matematicamente, essas equações, Compton provou, em definitivo que a Teoria de Thomson, baseada na teoria clássica sobre o comprimento de onda e os baixos valores na distribuição angular da seção de choque, não eram adequada para explicar o espalhamento da radiação por elétrons livres (PAIVA, 2014).

Sobre a teoria clássica de Thomson (1856-1940), Silva, Junior e Silva (2011) mostram que ela traz uma proposta a fim de estimular um valor para o coeficiente de absorção de massa,  $\frac{\mu}{\rho}$ , ou seja, é a energia transferida dos fótons para a matéria sob a forma de energia cinética de partículas carregadas, sendo dada por:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\tau}{\rho} + \frac{\sigma}{\rho}, \quad (26)$$

Onde  $\mu$  é o coeficiente de atenuação total do elemento que está sendo

bombardeado pela radiação,  $\tau$  é a seção de choque microscópicas em interação do efeito fotoelétrico,  $\sigma$  é a seção de choque microscópicas em interação do efeito Compton e  $\rho$  é a densidade do material.

Assim,  $\frac{\tau}{\rho}$  se refere ao coeficiente fluorescente de massa. Essa relação trata-se de como a substância emite radiação quando ela é atingida pelo fóton e  $\frac{\sigma}{\rho}$  faz referência ao coeficiente de espalhamento de massa, que determina seções de choque microscópica de interação, ou seja, é a fração de energia do efeito que é efetivamente transferida, isto é, que não é levada pelo fóton espalhado. De acordo com essa expressão defendida por Thomson, o coeficiente de espalhamento da massa era dado por uma constante com valor  $0,188 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Esse valor não dependia do comprimento de onda da radiação incidente, sendo assim, o coeficiente de absorção não seria menor que  $0,188 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Thomson utilizava essa teoria para esclarecer os fenômenos que tinham relação com o espalhamento dos raios X e  $\gamma$ .

Moraes (2020) traz uma abordagem sobre a seção de choque diferencial de Klein-Nishina, obtida em 1928, quando Klein e Nishina aplicaram as teorias relativísticas de Dirac do elétron para o Efeito Compton, melhorando a descrição das seções de choque. Nela também está contida a seção de choque diferencial proposta por Thomson. Esta seção de choque apresenta-se assim:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)}{\left[1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}\right]^2} \left\{ 1 + \frac{\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}\right)^2}{(1 + \cos^2\theta) \left(1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}\right)} \right\}, \quad (27)$$

na qual:

$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \lambda_c (1 - \cos\theta)$  é o deslocamento de Compton e

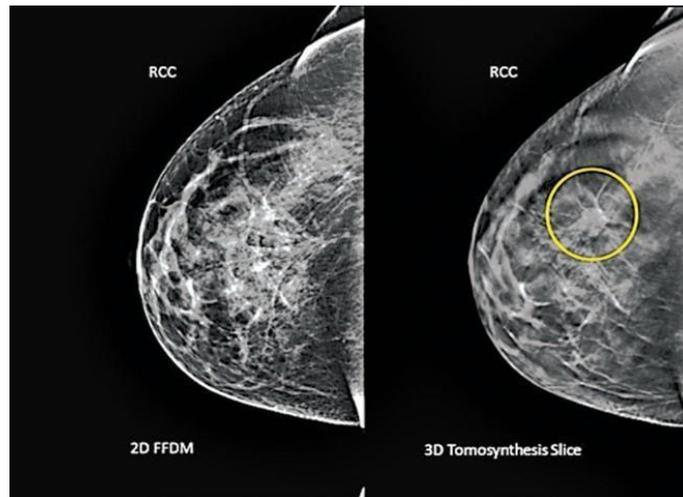
$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right) = \frac{1}{4\pi^2} (\alpha\lambda_0)^2 \left(\frac{1 + \cos^2\theta}{2}\right)$  refere-se a seção de choque diferencial estabelecida por Thomson, onde  $\alpha = \frac{e^2}{hc}$ .

A seção de choque diferencial de Klein-Nishina teve um marcante sucesso na predição do valor experimental correto, mesmo assumindo que os elétrons estão livres, e inicialmente em repouso.

### 2.3 Aplicações do Efeito Compton na sociedade

O espalhamento Compton é usado em diversos ramos da ciência, sendo, portanto, um assunto interdisciplinar por excelência. Segundo Boldo e Appoloni (2010), na área industrial, por exemplo, tem sido instrumento de auxílio na identificação de irregularidades em estruturas; já na medicina, seu desempenho corresponde às técnicas de exames de imageamento, ao produzir imagens de 2D e 3D, conforme Figura 13.

**FIGURA 13 – Exame de mamografia 2D e 3D**



Fonte: [www.gazetadopovo.com.br/mundo/new-york-times/exame-pode-ampliar-a-deteccao-do-cancer-ebfuxt4cwfl7g4rzjt56hji6/](http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/new-york-times/exame-pode-ampliar-a-deteccao-do-cancer-ebfuxt4cwfl7g4rzjt56hji6/)

A figura 13 ilustra um exame de mamografia realizado com imagens 2D e 3D, ao mostrar que os avanços tecnológicos na área da medicina ocorrem de maneira a beneficiar aqueles que necessitam, com imagens mais nítidas.

Já na Arqueometria, o espalhamento Compton tem sido empregados para localização de rachaduras em objetos que têm a argila como principal matéria-prima, conforme Figura 14 (BOLDO, APPOLONI, 2010).

**FIGURA 14 – Laboratório de Estudos Físico-Químicos e Arqueometria do Museu Arqueológico de Thessaloniki, Grécia**



Fonte: <https://arqueologiaeprehistoria.com/subareas-da-arqueologia/arqueometria/>

A técnica de utilização do espalhamento Compton pode ser utilizada para auxiliar em trabalhos de manutenção e restauração de material histórico. Entretanto, é na radiologia que ele é empregado com abundância, pois está presente em todos os tipos de aparelhos de raios-X (Figura 15).

**FIGURA 15 – Aparelho de radiografia**



Fonte: Prefeitura de Divinópolis/Divulgação

A Figura 15 apresenta um modelo dos aparelhos utilizados na área da radiologia, a fim de se realizar exames. Sua capacidade de interação, ao utilizar raio Gama com outros materiais, também é notória. Diante disso, nesta investigação, nos interessamos mais de perto por esta área do conhecimento humano.

Paiva (2014) lista diversos momentos nos quais o espalhamento Compton é tido como principal componente. Na física nuclear, por exemplo, esse efeito é

importante aos estudos de reações fotonucleares em vários níveis de energia, como as reações de fotofissão em objetos considerados de densidade baixa. De acordo com Paiva (2014), tais objetos são formados por um número relativamente pequeno de átomos, os quais são protegidos por materiais com um quantitativo atômico grande, utilizando-se do uso de feixe de fótons para serem identificados e detectados. Consequentemente, estes feixes são produzidos pelo espalhamento Compton.

As aplicações do efeito Compton são diversas, pois, desde sua descoberta, foi aprimorado para constituir novas tecnologias, tal como observamos em Boldo e Appoloni (2010). Estes autores trazem diferentes exemplos utilizados na sociedade, tal como ocorre com o concreto, com o metal, com a madeira e com materiais compostos.

No que compete à aplicação do Efeito Compton no concreto, é possível dizer que “um dos principais fatores que influenciam a resistência do concreto é a fração de ar que fica presa nos poros que se formam após o endurecimento” (BOLDO; APPOLONI, 2010, p. 12). A fração de ar, a que os autores se referem, está relacionada ao princípio da durabilidade, partindo da premissa de que os procedimentos de degradação são redesenhados em conformidade com a taxa de penetração do concreto.

Ainda sobre a aplicação em concretos, Boldo e Appoloni (2010) destacam a importância do Efeito Compton em propriedades internas do concreto, as quais atuam na fluidez de transporte de substâncias atômicas. Para eles, esta técnica não é destrutiva, partindo da premissa de que o retroespalhamento de raios gama é uma medida de extrema adequação, quando o concreto é o ponto de partida para problematizações.

Um efeito similar também é utilizado em metais específicos para fazer varreduras em trilhos de trem, a fim de se encontrar defeitos. Dessa maneira, passamos a compreender o sistema a ser desenvolvido como algo sistemático capaz de promover uma varredura eficiente, a qual se delinea de forma contínua. Isso, por sua vez, evidenciava pontos de defeito nos trilhos e nas variações de intensidade, sendo espalhados por intermédio do feixe advindo de uma fonte de Césio (Cs) (Boldo, Appoloni, 2010).

Este pressuposto pode ser readequado para outros tipos de metais, tal como o alumínio, que, em investigações posteriores, passou a ter uma atenção especial por parte dos pesquisadores envolvidos nessa temática. Nesse caso, o espalhamento

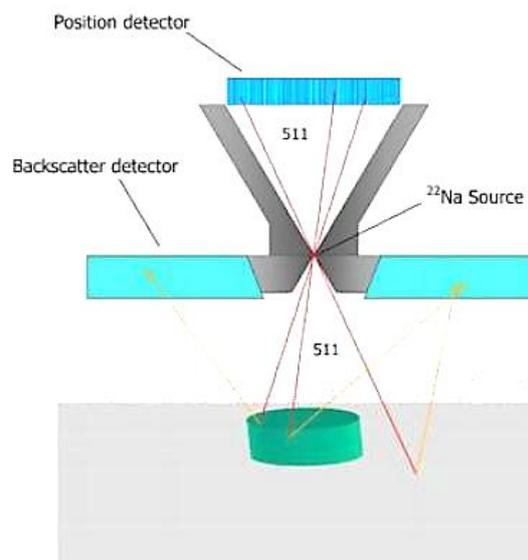
Compton colabora na identificação de defeitos internos ao referido metal, o que pode, conseqüentemente, levar ao mapeamento de outros defeitos com relativos diâmetros e resolução existentes.

De acordo com Boldo, Appoloni (2010), após estudos realizados por outros pesquisadores, esse efeito foi aprimorado para ter sua aplicação em diferentes materiais, como medir a densidade da madeira, visto que esse fator é muito importante, quando se trabalha com esse material.

Quando trabalhado com materiais compostos, o espalhamento Compton, segundo Boldo e Appoloni (2010), apresenta grande possibilidade de se configurar como técnica não destrutiva. Além disso, pede acesso unilateral em relação às amostras, as quais, por múltiplas vezes, pode evidenciar vantagens a partir de sua aplicabilidade em materiais biológicos, industriais e ambientais.

Observa-se o emprego desse efeito na área de defesa e segurança, na qual é possível detectar minas terrestres inseridas no solo, conforme ilustrado na Figura 16.

**FIGURA 16 – Detector de mina terrestre.**



Fonte: Boldo e Appoloni (2010)

Por outro lado, às vezes, esse método pode apresentar falhas, tendo em vista a possibilidade de apresentação de resultados falsos. Dispositivos para verificação de contrabando foram criados a partir do efeito Compton que, juntamente com outros fenômenos, fazem a varredura em objetos na busca de drogas.

Diante disso, tais dispositivos podem auxiliar na resolução de crimes que

envolvem tráfico de drogas e demais substâncias ilícitas, uma vez a polícia munida de equipamentos adequados capazes de viabilizarem este feito. O *BUSTER K910B* da *SDMS Security Products Ltd* (Figura 17) é um dos equipamentos aliados das forças policiais, colaborando, de maneira substancial, na detecção de contrabando, como se comprovou na pesquisa de Boldo e Appoloni (2010).

**FIGURA 17 – BUSTER K910B – equipamento que auxilia na detecção de contrabando.**

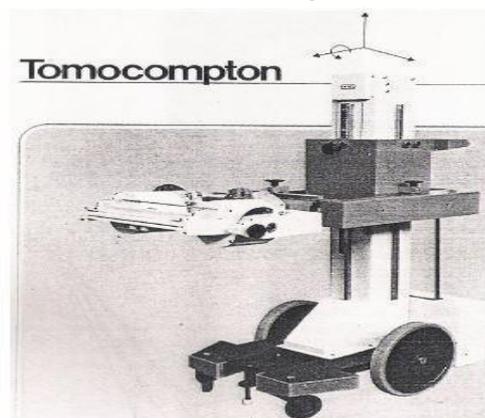


Fonte: <https://best-density-meter.com/2021/02/16/buster-contraband-detection-results-you-can-trust/>

O equipamento BUSTER K910B ilustrado na Figura 17, segundo Boldo e Appoloni (2010) é utilizado para detectar entorpecentes depositados na parte do pneu que contêm grande quantidade de ar, pois possui uma resolução espacial baixa, funcionando de forma satisfatória quando há contraste alto de densidades entre o contrabando e o seu entorno.

Diariamente, ocorrem evoluções em todas as áreas do conhecimento, pois assim é possível observar o espalhamento Compton e de outras técnicas para o surgimento de novos dispositivos que auxiliem a vida do homem. Na medicina, o efeito Compton é essencial ao se referir à densitometria e à tomografia em 2D e 3D. Em 1988, foi construído e comercializado um aparelho de imageamento que recebeu o nome de Tomocompton (Figura 18).

**FIGURA 18 – Aparelho desenvolvido em 1988 e utilizado no imageamento do tórax, por meio do efeito Compton.**



Fonte: Boldo e Appoloni (2010).

O aparelho Tomocompton, ilustrado na Figura 18, mostrou-se bastante satisfatório em cumprir com os objetivos proposto, sendo este, utilizado também, no imageamento de peças de metal por meio de testes não destrutivos, na busca de defeitos.

Boldo e Appoloni (2010) acrescentam que um detector do tipo *nal, huddleston*, associado a uma fonte de Samário (Sm), permite medir a densidade energética em amostras de fêmur de diâmetros díspares. Isso, por sua vez, possibilita e viabiliza a reprodutibilidade dos valores contidos nos exames radiológicos.

Contudo, ainda foram necessários diversos estudos ao aprimoramento dessa técnica, a fim de ultrapassar algumas barreiras no corpo humano que dificultavam a aplicação desse processo. Foram formulados três tipos de abordagem de tomografia, ao utilizar como base principal o espalhamento Compton, sendo elas: ponto a ponto; linha a linha; e plano a plano. Assim:

O primeiro estudo que utilizou o espalhamento Compton de raios gama para imageamento e que instituiu as bases da técnica foi realizado por LALE em 1959. Ele propôs uma varredura ponto a ponto para determinar diferenças de densidade em tecidos internos de corpos de coelhos e porcos da Guiné. O arranjo experimental usado neste trabalho era composto por uma fonte colimada de  $^{192}\text{Ir}$  e um cristal de Perspex de 5" ligado a um fotomultiplicador para a detecção do feixe espalhado à 45° e 90°. [...] Posteriormente Clarke e colaboradores projetaram um aparato mais adequado ao uso clínico. Neste sistema temos uma fonte bem colimada de  $^{60}\text{Co}$  e dois detectores de plástico cintiladores acoplados a fotomultiplicadoras detectando o feixe espalhado a 45° em relação a direção do feixe incidente (BOLDO, APPOLONI 2010, p.35).

Como observado acima, o autor descreveu uma situação envolvendo imageamento e o espalhamento Compton de maneira evolutiva. Esses processos são

essenciais ao descobrimento de algum fator que venha ser prejudicial à vida do ser humano. Atualmente, vários equipamentos sofisticados ainda têm como principal fenômeno descritivo, o efeito Compton.

Além da área médica, Boldo e Appolloni (2010) afirmam que esse efeito também foi usado como técnica de análise na Sonda *RoLand*, ao mensurar a densidade do material encontrado próximo ao núcleo de um cometa.

## 2.4 Ensino do Efeito Compton em alguns livros didáticos

A FM está se fortalecendo no ensino por meio de debates e discussões sobre sua aplicação, principalmente no que se refere ao envolvimento tecnológico, área que os estudantes se mostram mais interessados, tal como asseveram Garcia e Costa (2014).

Entretanto, poucos livros didáticos abordam aspectos históricos e científicos das descobertas que constituem a FM. Neste sentido, Silva, Junior e Silva (2011) propuseram uma investigação com o objetivo de analisar os livros utilizados na graduação em Física, os quais discutissem o Efeito Compton e a trajetória do seu descobrimento. Infelizmente, muitos textos nos livros didáticos trazem informações que não condizem com a realidade histórica de Arthur Holly Compton.

De acordo com os autores, alguns livros trazem informações, que tendem a confundir os leitores em relação à história desse cientista. Foram analisados os seguintes autores de livros direcionados à Graduação em Física: Tipler e Lewelly (2006), Nussenzveig (1998), Halliday, Resnick e Walker (2007), Taketani e Nagasaki (2001). Desses, somente Taketani e Nagasaki (2001) trazem realmente a trajetória correta do cientista Arthur Holly Compton e fazem uma abordagem satisfatória sobre a descoberta do cientista, tendo em vista que abordam desde a ideia de grande elétron até a abordagem quântica.

Ao analisar Tipler e Lewelly (2006), Silva *et al.* (2011) resumiram a atividade científica dando ênfase ao resultado das pesquisas de Compton. Quanto a Nussenzveig (1998), os autores criticam a maneira como este apresenta a descoberta do efeito Compton, ao induzir o entendimento de uma situação equivocada. Portanto:

Ao abordar o efeito Compton, Nussenzveig (1998, p. 254) mencionou que a “Evidência mais direta das propriedades corpusculares da luz foi obtida entre 1919 e 1923 por Arthur Compton”. Essa consideração nos induz a interpretar que Compton sempre estivera dedicado a aplicação da hipótese do quantum

de luz, de 1919 a 1923, o que não é verídico historicamente, visto que as suas conjecturas iniciais estavam apoiadas na teoria eletromagnética clássica da luz. Foi apenas no final de 1922 que Compton propôs a sua abordagem quântica (SILVA, JUNIOR e SILVA. 2011 p. 416).

Questionaram também o posicionamento de Nussenzveig (1998), quanto à abordagem da física clássica realizada por Compton, a qual não apareceu em seu livro. Halliday, Resnick e Walker (2016) descrevem que, *a priori*, os autores discutiram o artigo publicado por Einstein, em 1916, no qual os fótons tinham *momentum* e, *a posteriori*, faz menção a Compton, ao afirmar que “o cientista fez incidir um feixe de raios X de comprimento de onda  $\lambda$  em um alvo de carbono” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2007 p. 190).

Conforme os autores, os textos dos livros analisados não trazem informações sobre a trajetória de Compton, desde as suas pesquisas sobre raios X dentro da teoria clássica até a descoberta do seu efeito, e o porquê da explicação quântica utilizada.

### **3 PRESSUPOSTOS METODOLÓGICOS DA INTERVENÇÃO DIDÁTICO-PEDAGÓGICA**

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia dessa dissertação. Para isso, foi feito um panorama sobre a abordagem e o tipo metodológico empregados nesse trabalho. *A posteriori*, apresenta-se o percurso de coleta dos dados analisados, gerados a partir da intervenção de uma Sequência Didática com foco no Efeito Compton. O referido material didático foi aplicado em 3 encontros virtuais, em razão da pandemia do COVID19, e foi orientado conforme os preceitos das MA, o que colaborou para que os dados coletados tivessem os resultados significados tal como se mostra no capítulo seguinte.

#### **3.1 Métodos de pesquisa**

Essa pesquisa é de Abordagem Qualiquantitativa, tendo em vista que os efeitos causados a partir da aplicação da Sequência Didática são mensurados a partir de elementos estruturados, como questionários, os quais, ao serem tabulados em forma de gráficos, podem revelar se os resultados da investigação são satisfatórios ou não (SEVERINO, 2007). Com isso, a preocupação estatística que se apresenta nas análises é motivada por padrões de respostas, os quais evidenciam percepções sobre o ensino do Efeito Compton no contexto da educação remota.

Duarte (2002) acrescenta que uma investigação científica, seja ela de qualquer natureza, compreende um sujeito envolto às esferas interdependentes que constroem seu olhar vascular. Nesse sentido, as respostas dos alunos, obtidas a partir da aplicação dos questionários e de sua tabulação, mensuram o seu grau de satisfação sobre as aulas de FM.

A Abordagem Qualiquantitativa é um método de pesquisa em expansão no contexto investigativo sobre o ensino de ciências no cenário brasileiro, pois opera na interface entre o olhar qualitativo e o olhar quantitativo, oferecendo, com isso, a possibilidade de uma análise mais concreta e real. Para Schneider, Fujii e Corazza (2017), as pesquisas de pós-graduação sobre ensino de ciências têm apresentado uma expressiva recorrência à referida abordagem, pois acreditam que esta semiotize o olhar positivista contemporâneo.

Os eixos metodológicos norteadores da prática aplicada, por meio da Sequência Didática, foram o ensino CTSA e a História da Física, tendo em vista que

são enfoques sobre a relação entre ciência e tecnologia, com vistas a envolver situações-problemas reais, a partir de uma perspectiva interdisciplinar (SCHWAN; SANTOS, 2020; PEZZARINI; MACIEL, 2018).

O ensino CTSA, aplicado ao percurso metodológico para coleta dos dados, utilizou a telefonia móvel como pano de fundo do planejamento pedagógico. O uso do simulador orientou as aulas de FM, na tentativa de enfatizar a tecnologia como basilar nos processos de ensino e de aprendizagem. A História da Física possibilitou a contextualização da temática sobre Efeito Compton, o que, de maneira direta, atuou no incentivo em perceber os fenômenos físicos de maneira mais racional e, conseqüentemente, menos abstrata (OLIVEIRA, 2019; ROSA; LANDIM, 2018).

A Abordagem Qualiquantitativa tenta responder ao problema da pesquisa: **Como o ensino do Efeito Compton, orientado pelo uso de um aplicativo para aparelho móvel e pela metodologia ativa “Sala de Aula Invertida”, pode impactar na visibilidade e motivação no estudo da Física Moderna no contexto da escola básica?**

### 3.2 Delimitação da área de pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida juntamente aos alunos do Ensino Médio de escolas públicas, localizadas no município de Bragança (PA). Como critérios para a seleção dos sujeitos de pesquisa, optamos por alunos da 3ª série do Ensino Técnico integrado ao Ensino Médio do Curso Técnico de Edificações e Técnico em Desenvolvimento de Sistema do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) devidamente matriculados e assíduos nas aulas de modelo remoto.

### 3.3 Delineamento da pesquisa

*A priori*, a pesquisa seria aplicada “*in loco*”, mas, devido à pandemia, foi redesenhada de maneira remota, com auxílio das mídias digitais, pois, observando o panorama epidêmico no qual nos encontramos com a pandemia da COVID-19, é a oportunidade mais adequada para sugerir ferramentas ao professor para o ensino de tópicos da FM na Educação Básica. Esta se deu por meio de encontros virtuais realizados na plataforma *Google Meet* ou redes sociais, com duração de 2 horas/aulas semanais cada. Foram estruturados 3 momentos, de forma a contemplar as atividades planejadas, sempre buscando evitar o desgaste mental dos estudantes.

### 3.4 Construção e organização da Sequência Didática

A Sequência Didática proposta tem como base a MA Sala de Aula Invertida. Richartz (2015, p. 297) afirma que “com ela, o aluno constrói seu conhecimento em vez de recebê-lo de forma passiva do professor”. Dessa forma, o estudante teve as competências necessárias para realizar questionamentos e até intervenções nas discussões realizadas em sala de aula. Quando se trabalha com essa metodologia, o estudante passa a ser o responsável pela construção do seu conhecimento, desperta-se o desejo de busca, a felicidade por uma descoberta realizada. Sobre a Sequência Didática, é possível assegurar que esta:

é composta por várias atividades encadeadas de questionários, atitudes, procedimentos e ações que os alunos executam com a mediação do professor. As atividades que fazem parte da sequência são ordenadas de maneira a aprofundar o tema que está sendo estudado e são variadas em termos de estratégia: leituras, aula dialogada, simulações computacionais, experimentos etc (MONTOVANI, 2015, p.17).

Uma Sequência Didática é bem diversificada, quando prevalece a função de fazer com que o aluno se aprofunde e seja capaz de discutir com propriedade os temas trabalhados. Zabala (1998) afirma que há uma necessidade do aluno atualizar seu conhecimento no que se refere aos conteúdos escolares com os quais têm contato. Quando isso ocorre, é válido dizer que, de fato, está havendo uma aprendizagem significativa.

Para obter-se uma aprendizagem significativa, é imprescindível que os conhecimentos adquiridos em sala de aula dialoguem com os do cotidiano do aluno. Assim, haverá uma conexão entre teoria e realidade, fazendo com que aquela informação seja transformada em conhecimento pelo estudante.

Após a definição do local e dos participantes, faz-se necessário definir quais etapas terá a Sequência Didática. Ao ser observado o cenário pandêmico que se redesenha atualmente, a aplicação da Sequência Didática foi realizada de forma remota, baseada no modelo de Sala de Aula Invertida.

A princípio, foram trabalhados tópicos históricos da vida de Arthur Holly Compton, e sua descoberta do Efeito Compton, como medidas contextualizadas importantes ao desenvolvimento cognitivo do aluno. Além disso, a abordagem CTSA permeou vários momentos da execução da Sequência didática.

A metodologia de Sala de Aula Invertida foi dividida em 3 momentos: antes,

durante e depois da aula. Segundo Studart (2019, p.12), as competências para cada momento devem ser:

**Antes da aula:**

- Obtém informações (vídeos, leituras, busca na internet);
- Levanta dúvidas;
- Faz tarefas simples;
- Começa a se envolver.

**Durante a aula:**

- Discute com o professor e colegas;
- Tira dúvidas;
- Realiza atividades preferencialmente colaborativas (resolução de problemas, experimentos, simulações, games etc.)

**Depois da aula:**

- Reflete sobre sua aprendizagem
- Faz relatórios, escreve textos etc.
- Amplia sua aprendizagem.

A Sequência Didática foi construída visando a utilização de aparelhos eletrônicos e computadores. Algumas atividades foram desenvolvidas com o auxílio de um simulador computacional (*InterCompton*) desenvolvido para esta pesquisa e do *site* educacional Google Sala de Aula, a fim de serem usados como ferramenta para discussões sobre o tema estudado e a realização de pequenas avaliações contínuas, tais como: absorção do conteúdo e satisfação com o arsenal tecnológico utilizado pelo professor de Física.

### 3.4.1 Sequência Didática

As práticas pedagógicas precisam incentivar o desenvolvimento de competências por intermédio da aprendizagem ativa do aluno. Dessa forma, o procedimento metodológico da Sequência Didática voltada para o ensino do Efeito Compton, na modalidade de ensino remoto, foi subdividido em 3 encontros virtuais<sup>5</sup> com duração prevista de 01 semana, para realização das atividades propostas, que são descritos linearmente abaixo:

---

<sup>5</sup> O termo “encontros virtuais” é utilizado nesta pesquisa em detrimento do termo “momentos”, uma vez que todo o procedimento de aplicabilidade da Sequência Didática ocorreu de maneira remota.

**1º ENCONTRO VIRTUAL - duração prevista (01 semana – 2 horas de duração)****• Aula online**

- *Acolher e apresentar a metodologia e os objetivos dos momentos de aprendizagem. Para isso, no primeiro instante, dá-se boas-vindas aos alunos, sujeitos da pesquisa, seguida de uma explicação clara a respeito do porquê desses momentos virtuais.*
- *Propor a gravação de um vídeo curto (3 a 5 minutos) aos alunos, o qual aborde a descoberta de Compton e suas implicações na sociedade, ao relatar alguns fatos científicos que ocorreram e situações que eles considerem interessante. Conforme as diretrizes das MA, o quesito tempo é importante também para que o aluno não se sinta cansado da atividade e, com isso, fique disperso. No vídeo, gravado pela própria autora desta pesquisa, que será disponibilizado aos alunos, o tema versa sobre explicações a respeito do Efeito Compton.*
- *Disponibilizar artigos e vídeos para dar suporte à execução dessa atividade. Diante disso, sugere-se os seguintes vídeos e arquivos em PDF: a) Efeito Compton, disponível em <https://youtu.be/zb3qrTZ9PAM>; b) Física - Efeito Compton, Efeito Fotoelétrico e Produção de Pares, disponível em <https://youtu.be/b-c7cWYVfsk>; c) Efeito Compton, disponível em [https://youtu.be/HRp1z7biT\\_s](https://youtu.be/HRp1z7biT_s); d) Leituras de Física - O Efeito Compton, disponível em <https://youtu.be/JKdMIDYefKE>; e) O Uso do Efeito Compton nos Diagnósticos por Imagem, PDF de Pereira et al, disponível em [http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/1235\\_1393\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/1235_1393_01.pdf).*
- *Realizar o preenchimento do questionário prévio, para averiguação dos conhecimentos prévios do discente, por meio do Google Forms, conforme Anexo A. O tempo estimado para aplicação dos questionários será de até 45 minutos.*

**2º ENCONTRO VIRTUAL - duração prevista (01 semana – 2 horas de duração)**

- *Socialização dos vídeos com a turma. Entretanto, partimos do princípio de que todos postaram os vídeos no Google Drive para socialização virtual.*
- *Discussão sobre a aula gravada e as aplicações do Efeito Compton. Para que esse*

*momento de diálogo seja eficiente e eficaz, é importante que seja utilizado os materiais sugeridos e/ou utilizados pelo professor e pelos alunos.*

- *Discussão sobre as informações que os alunos coletaram sobre o Efeito Compton. Tais informações, por sua vez, foram coletadas também, a partir de interações pelo Google Meet e/ou pelo WhatsApp.*
- *Explicação sobre como acontecerá a utilização do aplicativo móvel InterCompton.*
- *Realização de tarefa sobre o Efeito Compton (com auxílio do Simulador InterCompton), disponível em PDF e pelo Google Forms. Nesta mesma plataforma, os alunos postaram suas respectivas respostas.*

### **3º ENCONTRO VIRTUAL - duração prevista (01 semana – 2 horas de duração)**

- ***Aula online***

- *Socialização da tarefa proposta durante o 2º Encontro, por meio do Simulador InterCompton.*
- *Agradecimentos aos alunos e socialização das impressões docentes sobre a aplicação desta Sequência Didática.*
- *Encaminhamento da autoavaliação dos momentos de aprendizagem após questionário via Google Forms.*

### **3.5 Simulador computacional *InterCompton***

Para construção do simulador *InterCompton*, foi utilizado o software *Unity 3D*<sup>6</sup>, que é um *game engine*, ou seja, um motor de jogos. Seu objetivo é simplificar o procedimento de criação de jogos, por meio do fornecimento de um conjunto de funcionalidades, como por exemplo, o tratamento de colisão e simulação de efeito físicos. Pode ser utilizado em projetos de outra natureza, como simuladores, desenvolvimento de mapas interativos, aplicações em Realidade Aumentada e Virtual etc. O *Unity 3D* suporta o desenvolvimento nas linguagens *C#* e *Javascript* e é

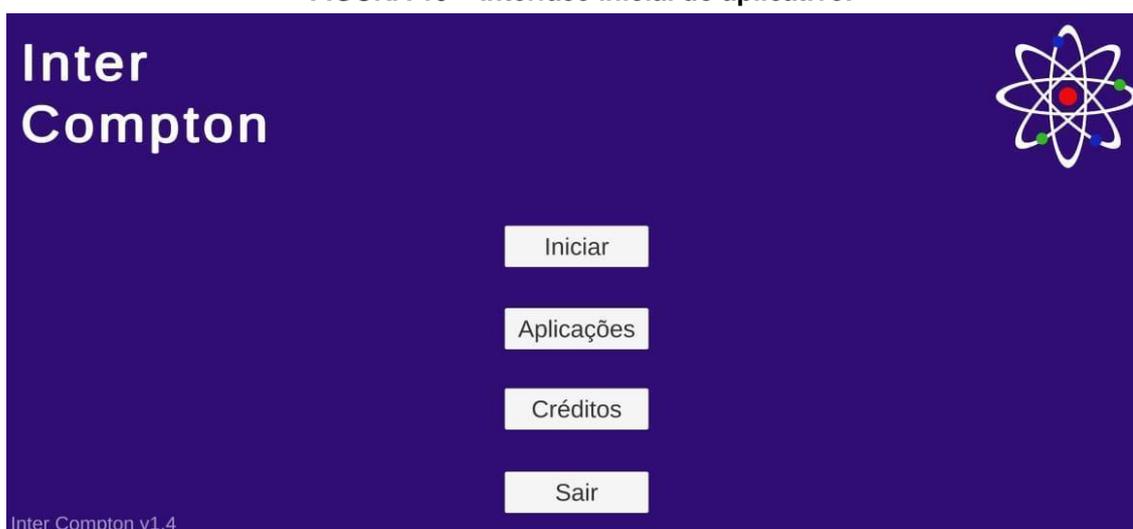
<sup>6</sup> Disponível em <https://unity.com/pt/products/unity-platform>. Acesso em 27/06/2021, às 17h21min.

multiplataforma, ou seja, é possível desenvolver para diversos sistemas, como Windows, Mac e Android, a partir de uma única aplicação.

O simulador *InterCompton*<sup>7</sup> foi desenvolvido como uma aplicação para sistemas Android, que apresenta um ambiente para simulação do Efeito Compton, por meio da ilustração do choque de ondas eletromagnéticas do espectro de luz, com partículas subatômicas ou átomos. Na Figura 19, observamos a interface inicial do aplicativo, no qual é possível acessar alguns *menus*, como:

- **Iniciar:** leva o usuário à interface do simulador, por meio do qual é possível escolher os parâmetros necessários à realização da simulação do efeito Compton;
- **Aplicações:** leva o usuário à interface na qual se encontra algumas opções de aplicações tecnológicas do efeito dentro do contexto social;
- **Créditos:** leva o usuário à interface na qual se encontra informações sobre as pessoas que desenvolveram o produto e orientadores;
- **Sair:** leva o usuário a finalizar o aplicativo.

FIGURA 19 – Interface inicial do aplicativo.



Fonte: Autor

Após clicar na opção iniciar (Figura 19), a próxima interface a ser mostrada é a dos parâmetros de entrada (*inputs*) utilizados na simulação (Figura 20), sendo

---

<sup>7</sup> O simulador InterCompton está disponível na loja de aplicativos *Google Play Store*.

possível a escolha das ondas eletromagnéticas do espectro de luz, tais como: ultravioleta, violeta, azul, verde, amarelo, laranja, vermelho e infravermelho, de maneira a interagir com massas relacionadas ao: próton, Nêutron, Elétron, Chumbo (Pb) e Ouro (Au).

**FIGURA 20 – Interface da área de escolha dos parâmetros.**



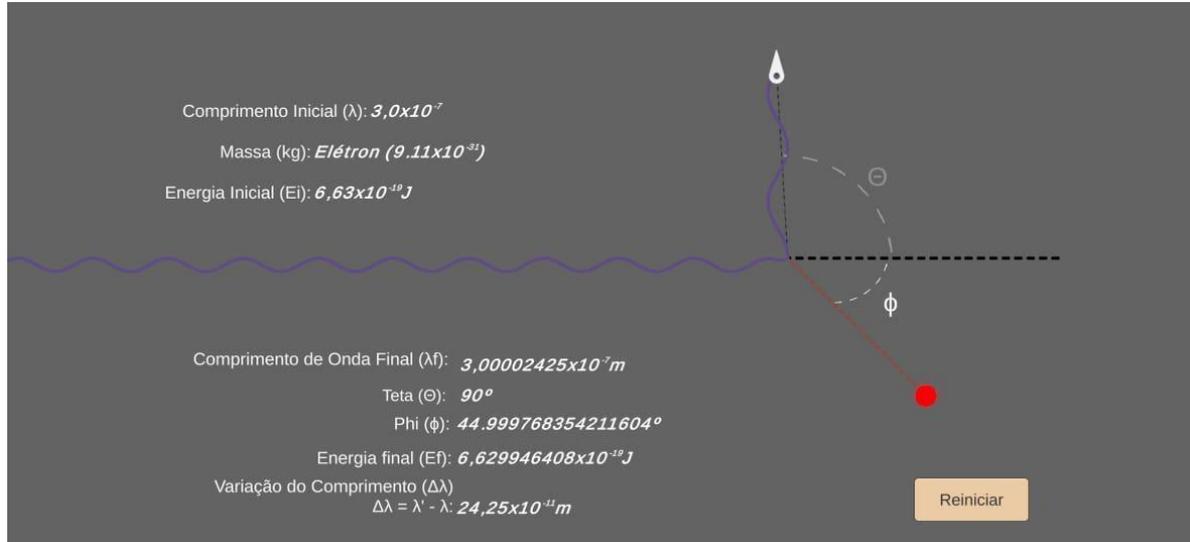
**Fonte:** Autor

Observa-se na Figura 20 que, abaixo de cada parâmetro de entrada, aparecerá o seu respectivo valor. Logo, escolhida a radiação ultravioleta, por exemplo, será mostrado na caixa inferior, o valor referente ao seu comprimento de onda ( $\lambda$ ) inicial. O mesmo acontece quando a massa de uma partícula é escolhida. Na opção **Informações**, estão contidos dados que explicam os cálculos matemáticos, alguns conceitos e unidades de medidas. É importante salientar que todas as grandezas físicas relacionadas à simulação são apresentadas em unidades do SI. Para sair da interface, basta que o usuário clique na opção: **Sair** e o mesmo será redirecionado a interface mostrada na Figura 19. Para finalizar o aplicativo, basta clicar na tecla sair, mostrada na mesma interface.

Após escolhidos os parâmetros de entrada, deve-se clicar na opção **Iniciar Simulação**. O resultado de uma simulação do efeito Compton é ilustrado na Figura 21, de onde podemos observar, além dos parâmetros de entrada, os parâmetros de saída (*outputs*) na interface gráfica, a saber: valores da energia da radiação incidente ( $E_i$ ) e espalhada ( $E_f$ ); o comprimento de onda final ( $\lambda_f$ ) e a variação do mesmo

$(\Delta\lambda)$ ; assim como o ângulo de espalhamento da partícula atingida pela radiação incidente, neste caso um elétron,  $(\phi)$ .

**FIGURA 21 – Interface da simulação.**



Fonte: Autor

Após a simulação ser realizada, aperta-se o botão **Reiniciar** e o aplicativo volta à interface mostrada na Figura 20.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos a partir da intervenção que foi proposta nessa dissertação. Por intermédio desses resultados, mensuram-se as contribuições das MA no ensino de Física, em especial sobre Efeito Compton, de maneira a vislumbrar como tais estratégias ativas colaboraram para o desenvolvimento de um ensino e aprendizagem menos abstrata e mais socialmente engajada para o aluno. Nesse sentido, consideram-se pertinentes as análises sobre o procedimento de aplicação da Sequência Didática, tabuladas por meio da aplicação de questionários estatisticamente tratados nesse capítulo. Tem-se a descrição e análise dos três momentos que sintetizam a Sequência Didática produzida durante a pesquisa que resultou nessa dissertação.

### **4.1 Primeiro Momento**

A aplicação da Sequência Didática se deu no IFPA, em duas turmas da 3ª série do Curso Técnico integrado ao Ensino Médio, sendo 1 turma do curso de Edificações (18 alunos) e 1 turma do curso de Desenvolvimento de Sistemas (TDS) (20 alunos).

Para fins cronológicos, o 1º encontro virtual teve duração máxima de 1 semana com 2 horas de duração, partindo do princípio de que foram executadas atividades síncronas e assíncronas, vista a viabilidade da internet dos alunos sujeitos da pesquisa. Já no que se refere à temática abordada, todos os materiais envolvidos fazem referência a questões teóricas e práticas sobre o Efeito Compton.

O Questionário Investigativo apresenta 10 questões subjetivas semiestruturadas, com o objetivo de colaborar para o mapeamento de conhecimentos prévios dos alunos sobre FM e, em particular, o Efeito Compton e tecnologias associadas a ele. Em tempo, é pertinente lembrar que a resolução do questionário não implicou na geração de pontos, podendo ser respondido sem nenhum “compromisso avaliativo” por parte dos alunos. Isso se torna pertinente para entendermos que as respostas geradas nesse questionário são as mais verossímeis possíveis, já que, em nenhum momento, os alunos se sentiram obrigados a dar essa devolutiva. Entretanto, a não obrigatoriedade da devolutiva do questionário implicou num total de respostas diferente do total de alunos nas turmas.

Logo após a apresentação do Questionário Investigativo foi solicitado aos alunos a produção de vídeos curtos sobre Efeito Compton, a serem socializados num

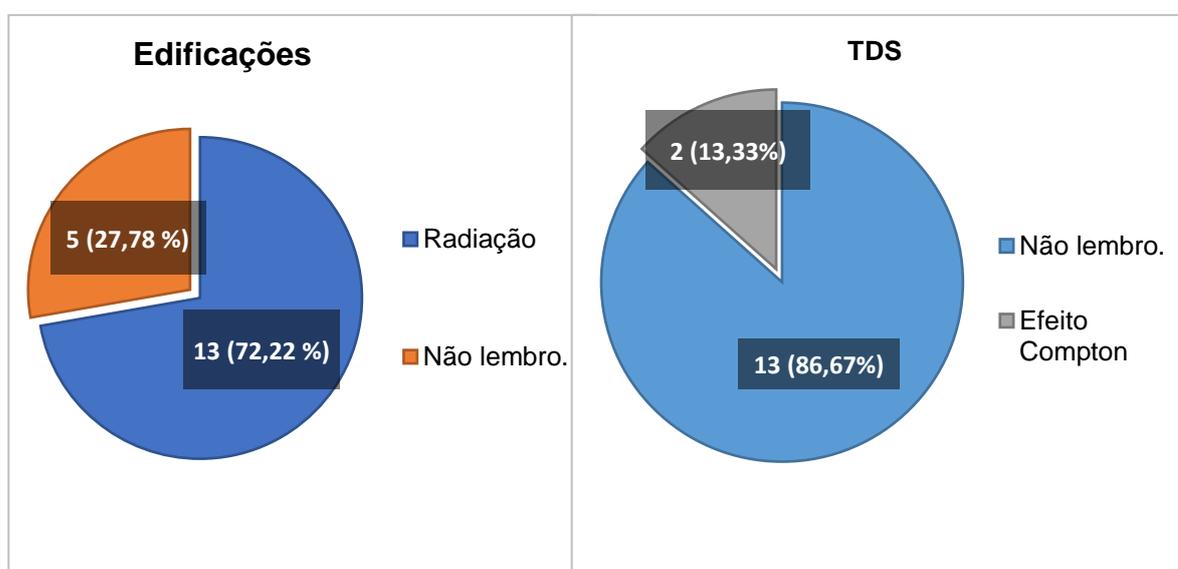
momento posterior da investigação. Para tanto, os alunos foram orientados que os referidos vídeos deveriam ser produzidos da maneira mais objetiva possível, sem perder a criatividade. Para isso, recomendou-se que os alunos fizessem esse material em seus respectivos celulares, já que a tecnologia é um dos pilares das MA utilizadas nesta pesquisa.

Os dados coletados por meio da aplicação do Questionário Investigativo foram tabulados e estão dispostos nos Gráficos 1 a 10, nos quais foram identificados padrões de respostas e/ou palavras chaves às questões subjetivas que estão reproduzidas nos gráficos. A sequência de gráficos apresenta o número de alunos e os percentuais associados a esses padrões de resposta e/ou palavras chaves, alternadamente, para a turma de Edificações e TDS, no formato: *número de alunos que responderam a atividade / percentual relativo*.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **primeira questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 01**:

### GRÁFICO 01 – Questão 01 (Pré-Teste)

Para verificar doenças, determinar se houve ou não uma lesão após uma queda, é comum que o paciente seja encaminhado para a realização do raio-X. Quais são os fenômenos físicos relacionados a esse exame?



Fonte: Questionário Investigativo

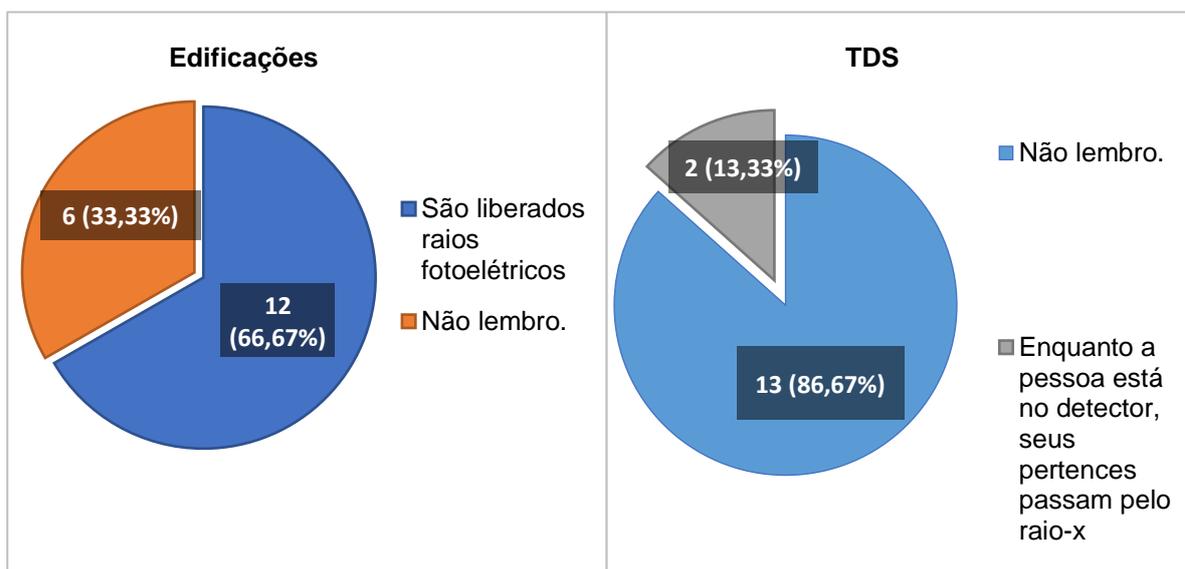
De acordo com o Gráfico 1, 72,22% dos alunos da turma de Edificações associaram o termo Radiação como principal fenômeno físico em casos de exames de raio-x; enquanto 27,78% não estavam aptos a responder, alegando que não se

lembravam do assunto. Ainda de acordo com Gráfico 1, 86,67% dos alunos da turma de TDS responderam que não sabiam a resposta, visto que não tinham lembranças sobre o referido tema; já 13,33% dos mesmos disseram Efeito Compton como resposta. Consideramos que esta última estatística tenha sido motivada em razão da própria temática da aula, mencionada anteriormente no primeiro momento da intervenção.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **segunda questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 02**:

### GRÁFICO 02 – Questão 02 (Pré-Teste)

Quando estamos nos preparando para viajar de avião, uma das ações obrigatórias é que nossa bagagem de mão passe pelo raio-X a fim de verificação. Observando os seus conhecimentos prévios, me diga como você acha que acontece a detecção dos objetos dentro da máquina de raio -X?



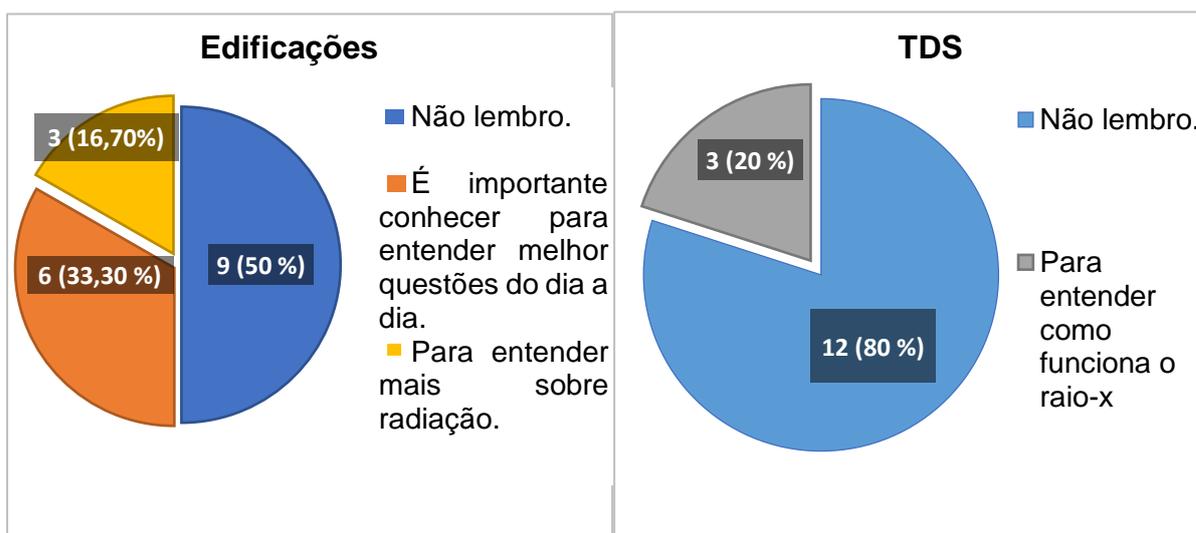
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 2, 66,67% dos alunos da turma de Edificações responderam que o referido fenômeno físico ocorre a partir da liberação de raios fotoelétricos; enquanto 33,33% dos mesmos responderam que não estavam aptos a responder tal questionamento, considerando que não estavam lembrando do assunto. Ainda de acordo com o Gráfico, 86,67% dos alunos da turma de TDS responderam que não sabiam, visto que não tinham lembranças sobre o referido assunto; já 13,33% destes afirmaram que tal fenômeno físico ocorre no momento em que a pessoa está no detector, em que seus pertences passam pelo raio-x.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **terceira questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 03**:

### GRÁFICO 03 – Questão 03 (Pré-Teste)

O espectro eletromagnético é bastante estudado na área da Física, pois nele estão contidas ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda e frequência. Na sua opinião, por que é importante conhecer as características das ondas eletromagnéticas?



Fonte: Questionário Investigativo

Conforme o Gráfico 03, 50% dos alunos da turma de Edificações responderam que, por não terem lembranças sobre o assunto, não sabem responder à pergunta; 33,30% destes disseram que é importante conhecer as características das ondas eletromagnéticas para compreender melhor questões do dia a dia; enquanto 16,70% dizem que o entendimento do referido fenômeno físico, favorece a compreensão das informações teóricas sobre radiação. Já na turma de TDS, 80% dos alunos disseram que não podem responder ao que foi perguntado, tendo em vista que não lembraram do assunto; já 20% dos respondentes sinalizaram a importância das ondas eletromagnéticas no entendimento sobre o funcionamento do raio-x.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **quarta questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 04**:

### GRÁFICO 04 – Questão 04 (Pré-Teste)

Um cientista chamado Arthur Holly Compton descobriu um efeito Físico chamado de Efeito Compton. Você sabe me explicar como ocorre esse efeito?



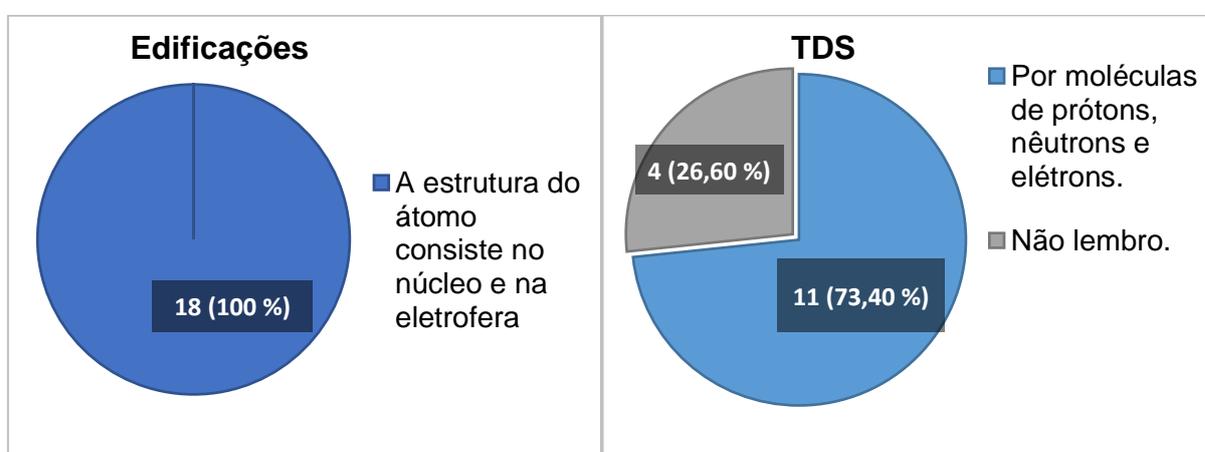
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 04, 61,10% dos alunos da turma de Edificações responderam que não sabem explicar o Efeito Compton, porque ainda não lembram do assunto; enquanto isso, 39,90% alegaram que o Efeito Compton acontece em razão da interação do raio-x. Na turma de TDS, 100% dos alunos disseram que não estavam aptos a responder, tendo em vista que não estavam lembrados do assunto.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **quinta questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 05**.

### GRÁFICO 05 – Questão 05 (Pré-Teste)

Com base nos seus conhecimentos sobre átomos, me diga como um átomo é estruturado?



Fonte: Questionário Investigativo

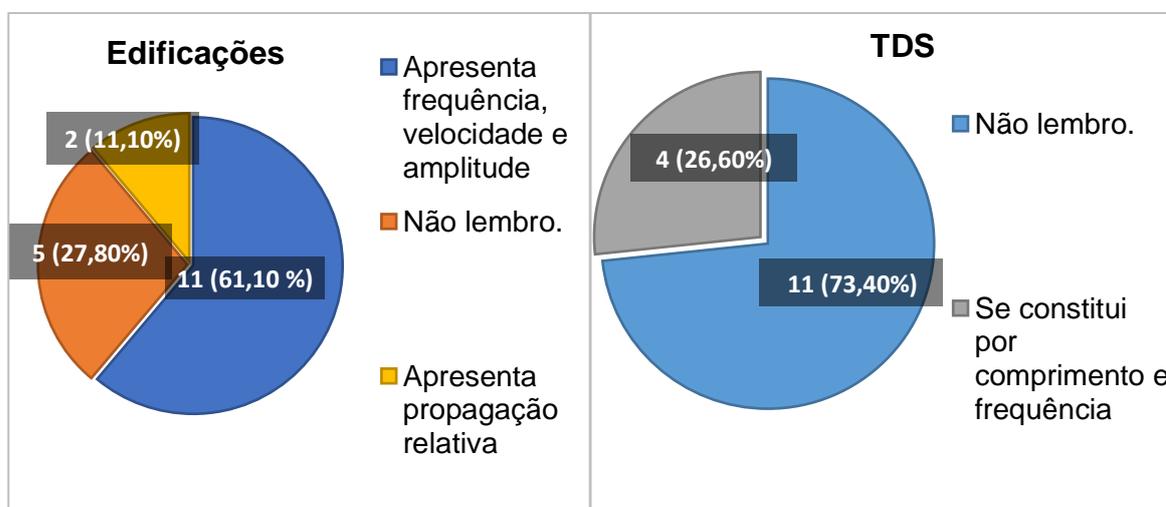
De acordo com o Gráfico 05, 100% dos alunos da turma de Edificações afirmam que o átomo está dividido entre núcleo e eletrosfera. Por se tratar da totalidade desses discentes, os dados estatísticos ilustram uma gama de conhecimentos prévios por

parte dos alunos sobre a estrutura morfológica do átomo. Na turma de TDS, 73% dos alunos responderam que o átomo é constituído por prótons, nêutrons e elétrons; já 27% dos respondentes disseram não estarem aptos a responder, tendo em vista que não lembravam do assunto.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **sexta questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 06**:

### GRÁFICO 06 – Questão 06 (Pré-Teste)

Ondas eletromagnéticas são oscilações formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais. Abaixo, temos uma imagem representando uma onda. Me explique resumidamente algumas características dessa onda que são perceptíveis através da imagem.



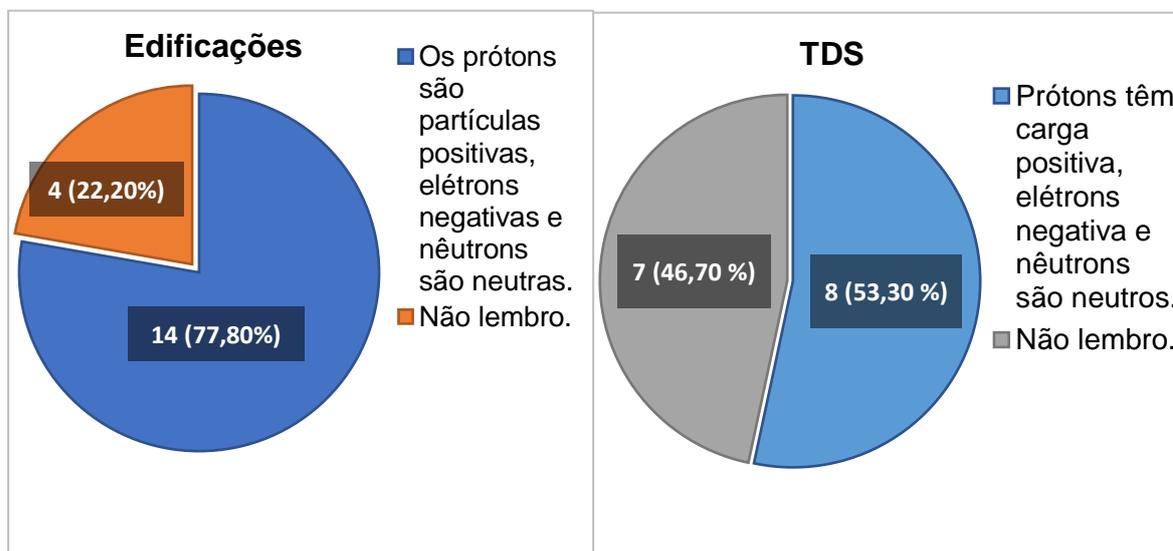
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 06, 61,10% dos alunos da turma de Edificações elencaram como características das ondas eletromagnéticas a frequência, a velocidade e a amplitude; já 27,80% dos respondentes disseram que não sabiam, pois não estavam lembrando do conteúdo; enquanto 11,10% dos mesmos mencionaram a apresentação da propagação relativa ao meio. Em relação aos alunos da turma de TDS 73,40% disseram que não poderiam responder, alegando não terem lembranças do assunto antes; já 26,60% dos mesmos apresentaram como característica das ondas eletromagnéticas o comprimento e a frequência.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **sétima questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 07**:

### GRÁFICO 07 – Questão 07 (Pré-Teste)

Átomo é uma partícula microscópica que é base da formação de toda e qualquer substância. Com base nos seus conhecimentos, o que você sabe sobre os elementos que compõem um átomo?



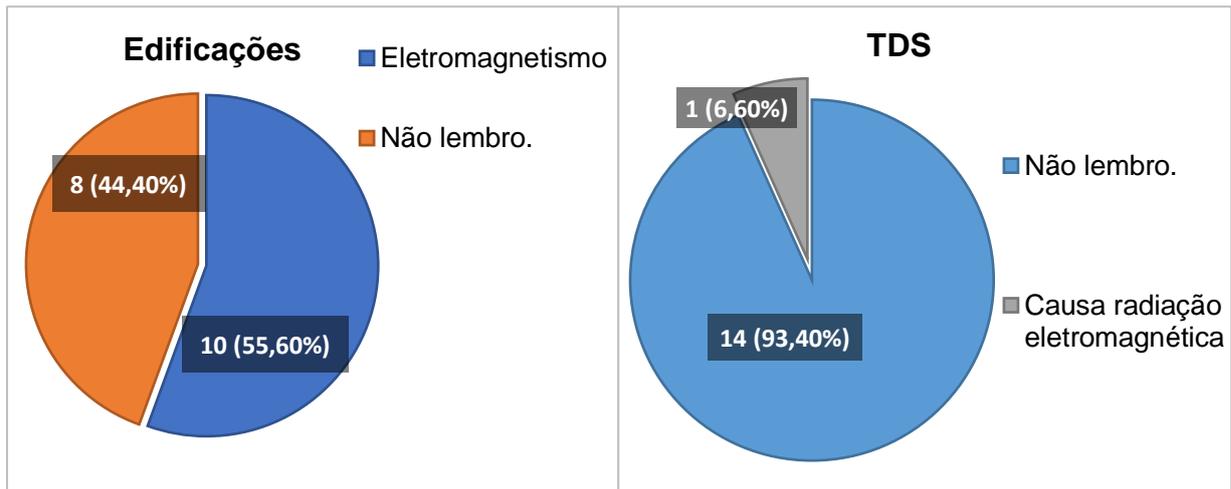
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 07, 77,80% dos alunos da turma de Edificações mencionaram a natureza elétrica das partículas subatômicas: prótons, elétrons e nêutrons; já 22,20% dos respondentes disseram não estarem aptos a responderem à referida pergunta, pois não estavam lembrando. Analisando a turma de TDS, 53,30% mencionaram a natureza elétrica das partículas subatômicas: prótons, elétrons e nêutrons; já 46,70% dos mesmos responderam que não sabem, visto que não tinham lembranças sobre o assunto.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **oitava questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 08**:

### GRÁFICO 08 – Questão 08 (Pré-Teste)

Uma mina terrestre é um artefato explosivo utilizado com a finalidade de evitar ou dificultar o avanço de forças de infantaria ou de carros de combate em campo de batalha. O processo de remoção de minas é muito lento, e necessita paciência. Na sua opinião qual o efeito físico que ocorre na detecção dessas minas?



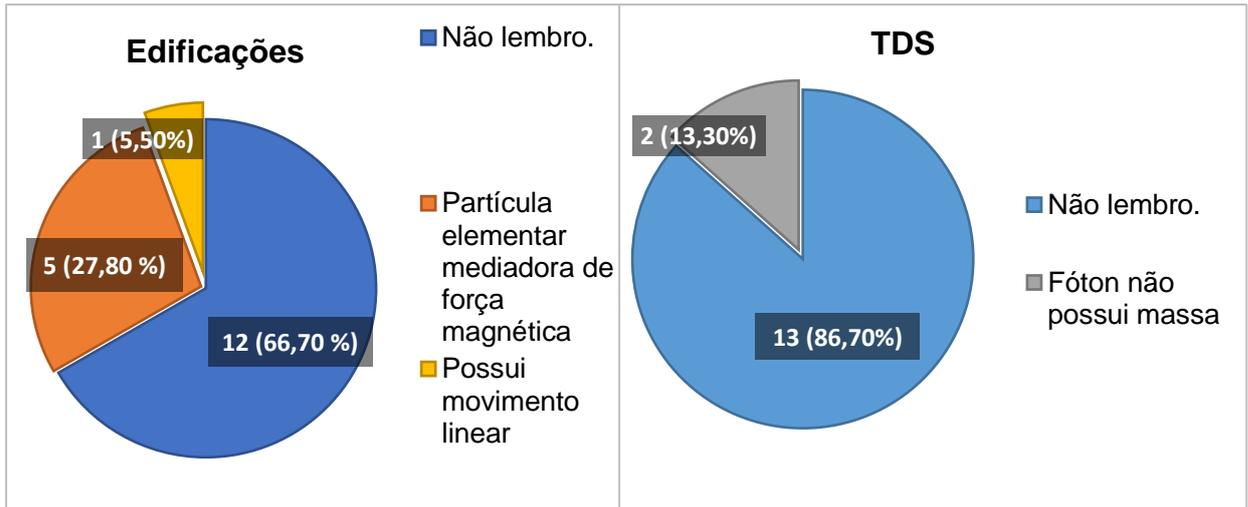
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 08, 55,60% dos alunos da turma de Edificações responderam que o fenômeno físico responsável pela detecção das minas era o Eletromagnetismo; já 44,40% dos respondentes disseram que não se sentiam aptos a responderem, visto que não tinham lembranças sobre o assunto. Na turma de TDS, 93,40% dos alunos não se sentiram aptos a responderem à referida pergunta, alegando não estarem lembrando do assunto; enquanto 6,60% dos mesmos mencionaram o fenômeno físico da Radiação Eletromagnética, como responsável pela detecção das minas.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **nona questão** do Questionário Investigativo são apresentados no Gráfico 09:

### GRÁFICO 09 – Questão 09 (Pré-Teste)

Na física, um fóton é uma partícula que possui energia eletromagnética. É a unidade básica que compõe toda a luz. O fóton é às vezes chamado de “quantum” de energia eletromagnética. Me diga, se souber, algumas características do fóton.



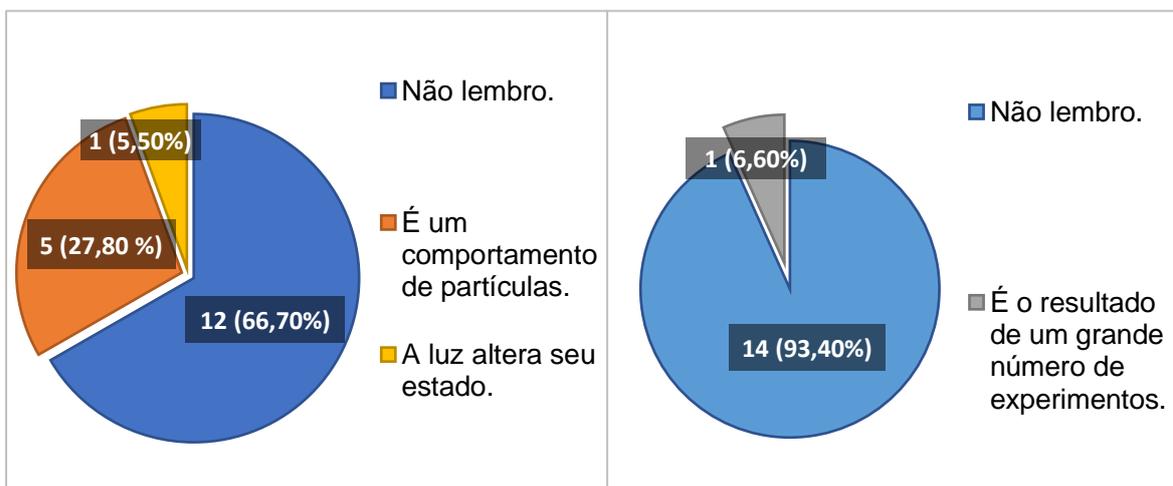
Fonte: Questionário Investigativo

De acordo com o Gráfico 09, 66,70% dos alunos da turma de Edificações preferiram não responder, alegando não terem lembranças sobre o conteúdo; já 27,80% dos respondentes mencionaram o fato do fóton ser uma partícula mediadora de força magnética; enquanto 5,50% dos mesmos afirmaram que o fóton tem movimento linear. Já 86,70% dos alunos da turma de TDS optaram por não responder à pergunta, alegando não estarem lembrando do conteúdo; já 13,30% dos mesmos afirmaram que o fóton não possui massa.

Os padrões de respostas e/ou palavras chaves dos alunos de ambas as turmas à **décima questão** do Questionário Investigativo são apresentados no **Gráfico 10**:

### GRÁFICO 10 – Questão 10 (Pré-Teste)

A luz apresenta uma dualidade onda - partícula. O que você entende sobre essa dualidade?



Fonte: Questionário Investigativo

Conforme o Gráfico 10, 66,70% dos alunos da turma de Edificações responderam que não lembravam sobre o assunto; já 27,80% dos respondentes acreditam que essa dualidade é um comportamento de partículas; enquanto 5,50% dos mesmos entendem a dualidade como uma propriedade da luz capaz de alterar seu estado. Tem-se, então, 93,40% dos alunos da turma de TDS responderam que não podem opinar, pois não recordavam do conteúdo; já 6,60% dos mesmos disseram que a dualidade é o resultado de muitos experimentos, fazendo uma associação com comportamento probabilístico.

Os Gráficos 1 a 10 evidenciaram os conhecimentos prévios dos discentes (ou a falta de lembrança deles), quanto aos temas ligados à FM e algumas aplicações tecnológicas. Tais dados estatísticos demonstram que a turma de TDS possui menos conhecimentos prévios sobre FM, quando comparados à turma de Edificações. Essa falta de homogeneidade de conhecimentos sobre FM em turmas da mesma série, no mesmo ambiente escolar, pode ser explicada por vários fatores, dentre eles, se destaca o fato de muitos professores de Física não terem o costume de adentrar a esta seara em suas aulas no IFPA-Bragança. Esta é uma realidade do ensino de Física Moderna na educação básica no interior do Pará: um ensino pouco explorado no currículo escolar. Mas, esta realidade pode facilmente ser transposta para um panorama nacional.

Em síntese, o primeiro momento foi destinado à apresentação da proposta de pesquisa e sondagem dos conhecimentos prévios. A Sala de Aula Invertida, ainda que fosse uma metodologia desconhecida pelos discentes, foi encarada sem muita resistência pelos alunos, visto que eles se mostraram motivados, quanto a realização das atividades propostas nesse momento pedagógico, em virtude da quebra da rotina escolar, já culturalmente projetada pelo ensino tradicional.

## **4.2 Segundo Momento**

Para fins cronológicos, o 2º encontro virtual teve duração de 3 dias, sendo 1 dia com duração de 2 horas de encontro por meio do Google Meet e o restante através do aplicativo *WhatsApp*, com trocas de mensagens, áudios e imagens na tentativa de auxiliar os estudantes a sanarem suas dúvidas. A temática, somada a isso, continuou sendo o Efeito Compton, porém já em uma esfera mais prática. A partir disso, houve,

consequentemente, a proposta de um conteúdo menos abstrato e mais funcional na vida dos alunos.

No segundo momento, houve a execução da Sequência Didática no que tange a socialização dos vídeos produzidos no primeiro momento virtual e ao uso do simulador *InterCompton*. Essa etapa mostrou-se a mais significativa dessa investigação, pois foi nela que os alunos puderam expor seus questionamentos e, com isso, desenvolver suas várias habilidades essenciais à construção do conhecimento sobre a temática abordada.

Primeiramente, os vídeos produzidos foram compartilhados previamente pelo aplicativo *WhatsApp* em um grupo da turma, fato esse, que todos os estudantes concordaram em fazer<sup>8</sup>. Durante a semana, ocorreram diversas manifestações dos alunos elogiando os colegas, sugerindo algumas modificações nos vídeos assistidos. Ocorreu uma troca importante de informações que mostraram o quanto a maioria dos estudantes estavam envolvidos na atividade. O aplicativo pôde ser usado sem receio de falta de internet, pois todos os alunos alegaram ter pacotes de internet para utilizá-lo.

Porém, quando marcávamos um encontro virtual pelo *Meet*, alguns alunos mostravam dificuldades, pois não tinha dados móveis o suficiente para acessarem o link do encontro; daí o motivo de se ter realizado um encontro virtual ficando os outros momentos de diálogos restritos ao *WhatsApp*.

Durante o encontro virtual com a turma, os vídeos produzidos por eles foram exibidos. Nesse momento, foi perceptível o envolvimento que cada aluno teve na elaboração das mídias, pois, a empolgação que a maioria dos estudantes demonstravam com a criação e com o conteúdo pesquisado era notório. A Figura 22 ilustra a criatividade dos estudantes ao elaborar os vídeos. É uma pequena amostra da capa inicial dos vídeos confeccionados por eles.

---

<sup>8</sup> Os vídeos criados pelos estudantes estão disponíveis em uma pasta do google drive com o seguinte endereço:

[https://drive.google.com/drive/folders/1KfvhewtX\\_uTFxZeRz5NNCM0Yz6Kw8BEB?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1KfvhewtX_uTFxZeRz5NNCM0Yz6Kw8BEB?usp=sharing)

**FIGURA 22 – Imagem inicial de alguns vídeos que foram gravados pelos alunos**



Fonte: Autora

Após a visualização dos vídeos criados pelos alunos (Figura 22), a autora desta dissertação, enquanto professora das turmas, levantou alguns questionamentos, a fim de estimulá-los a relatar como foi a experiência de pesquisar e gravar os vídeos sobre o tema Efeito Compton. Uma das perguntas realizadas foi: *“De acordo com a pesquisa que vocês realizaram foi possível observar situações nas quais o Efeito Compton se faz presente na sociedade?”*

Para satisfação dessa professora, houve uma a resposta positiva, pois, os estudantes alegaram que encontraram no material sugerido na aula e em outros que tiveram acesso, alguns exemplos que fazem parte do cotidiano deles. Alguns citaram experiências pessoais envolvendo equipamentos nos quais encontramos o Efeito Compton, como equipamentos de raio X. Outros relataram que apenas tinham ouvido falar sobre o efeito fotoelétrico e que desconheciam o efeito Compton, sua origem e aplicação.

Partindo desses relatos, tem-se a próxima indagação: *“Foi importante conhecer um pouco sobre os aspectos históricos que envolveram o descobrimento do Efeito Compton?”* A maioria dos estudantes se mostraram bastante satisfeitos em pesquisar sobre os aspectos históricos, como pode-se observar nas falas de dois alunos:

**Aluno 1:** *“[...] é importante mostrar o quanto os cientistas estudam, fazem experimentos, e que alguns dão certo, mas outros não, e nem assim eles desistem de pesquisar.”*

**Aluno 2:** *“A tecnologia não é inventada de um dia para o outro. Tem muitos cientistas descobrindo fenômenos para construírem equipamentos que ajudem as pessoas na descoberta de doenças, então... eu acho legal conhecer um pouco de como eles fizeram isso.”*

Apesar da maior parte dos alunos se mostrarem interessados, animados com as atividades que estavam realizando, havia estudantes que não deram a devida importância para o assunto. Como observa-se nas falas a seguir:

**Aluno 3:** *“Sinceramente, eu estudo sobre esses cientistas do passado, mas não me interessa como eles chegaram ao fenômeno, pra mim, basta saber como usaram. Não gosto de misturar cálculos com história.”*

Por meio da fala do **Aluno 3**, esta autora observou a desmotivação quanto a relacionar os aspectos históricos de descobertas científicas com a utilização dele no seu dia a dia. Para alguns, o importante é calcular, colocar em prática junto a tecnologia sem levar em consideração a trajetória do trabalho científico desenvolvido.

Surgiu então um terceiro questionamento: *“A metodologia de gravação dos vídeos os estimulou para um estudo mais avançado do tema?”*

Novamente, os estudantes em sua maioria, responderam positivamente à indagação realizada, alguns afirmaram que:

**Aluno 4:** *“Eu gostei muito de fazer o vídeo, achei divertido e pude usar minha criatividade pra fazer os efeitos. E, também, eu tive que estudar mais o tema pra saber quais as imagens e efeitos eu podia colocar no vídeo.”*

**Aluno 5:** *“Como eu queria fazer uma coisa diferente, aí, eu tive que estudar bastante, eu vi aulas no Youtube, procurei no Google sobre o assunto e também procurei imagens. Aí eu fiz o vídeo. Ficou massa.”*

**Aluno 6:** *“Eu gosto de gravar vídeos, mas temos tantos trabalhos pra entregar que eu só estudei o que eu ia falar e fiz o vídeo pra apresentar. Eu queria ter feito melhor, mas não teve como.”*

Diante de tais respostas, houveram novos questionamentos no decorrer do encontro, sobre as dificuldades que eles encontraram para a realização dessa atividade e, nesse momento, muitos relataram a questão de não poderem se encontrar pessoalmente para estudar, trocar ideias de criação, já que estamos em um momento pandêmico.

Diante da indagação: *“Quais as principais dificuldades que tiveram para a construção dos vídeos?”*, escutou-se alguns argumentos interessantes como:

**Aluno 7:** *“Professora, eu tive muita dificuldade em encontrar exemplos do efeito Compton na sociedade, e eu encontrei muitas vídeo aulas legais que explicavam o assunto, mas na hora de encontrar algo escrito, achei um monte de artigo científico, que eu não consegui entender quase nada”.*

**Aluno 8:** *“eu concordo, professora. As informações mais acessíveis eram as vídeo aulas, sempre que eu pesquisava algo escrito, eu achava pouca coisa com uma leitura fácil, achei um monte de artigos, mas todos de nível superior.”*

**Aluno 9:** *“eu fiquei sem internet uns dias, aí fiquei lendo o material que a senhora mandou pra gente, graças a Deus, eu entendi legal o artigo. Deu pra ter uma boa noção. Depois que a internet voltou, eu assisti umas vídeo aulas e baixei algumas imagens que eu achei que ficavam bacana. Não baixei mais artigo não. Também achei muito difícil entender os que eu encontrei.”*

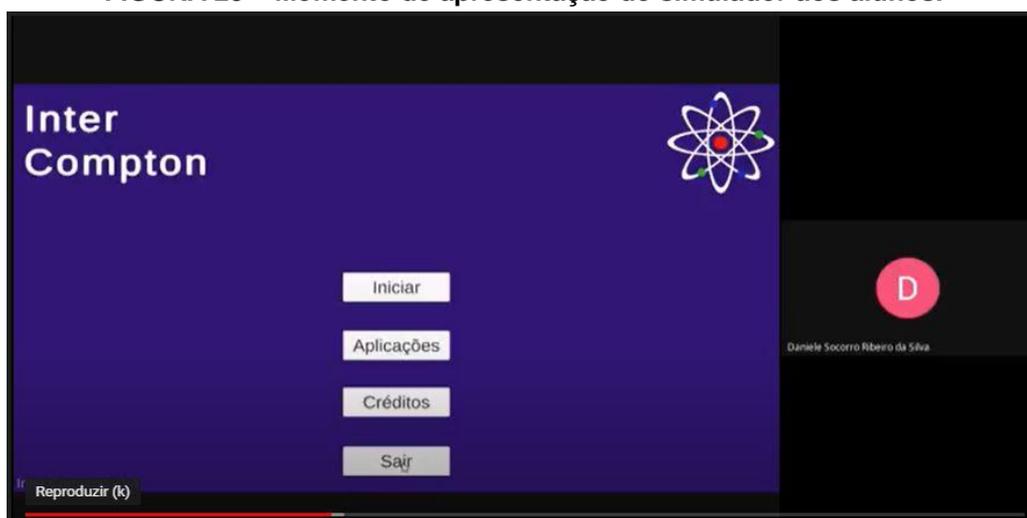
Por intermédio do diálogo sobre os materiais disponíveis sobre o tema Efeito Compton, foi observado que a maioria dos estudantes chamaram atenção para o fato do tema ser tratado com mais profundidade no ensino superior, pois de acordo com o relato acima, a maior parte dos artigos eram de difícil compreensão, pois eram usados em nível de graduação (ensino superior).

Mesmo com as dificuldades relatadas pelos alunos sobre os materiais encontrados na internet, foi possível observar indícios de aprendizagem significativa por parte dos alunos, pois ao analisar os diálogos mantidos no grupo, o esforço em gravar os vídeos tentando mostrar um pouco sobre o que é o tema e como ele ocorre, percebeu-se um aumento no nível do conhecimento dos alunos.

Fazendo uma pequena avaliação sobre o envolvimento dos alunos quanto ao estudo do tema e gravação dos vídeos, neste 2º momento, esta professora observou muitos pontos positivos em relação ao ensino e aprendizagem dos estudantes, mas, concorda que, como pontos negativos, a questão da pandemia dificultou o contato aluno–aluno e professora–aluno, pois dependíamos muito de fatores como: internet; mudanças climáticas repentinas (às vezes, chovia em um bairro, o que dificultava o acesso à internet e em outro bairro, estava um dia ensolarado) e a desmotivação de alguns alunos (a minoria), durante as aulas remotas nesse período pandêmico.

Posteriormente, a professora mostrou como manusear o aplicativo, utilizando uma versão para computador (Figura 23).

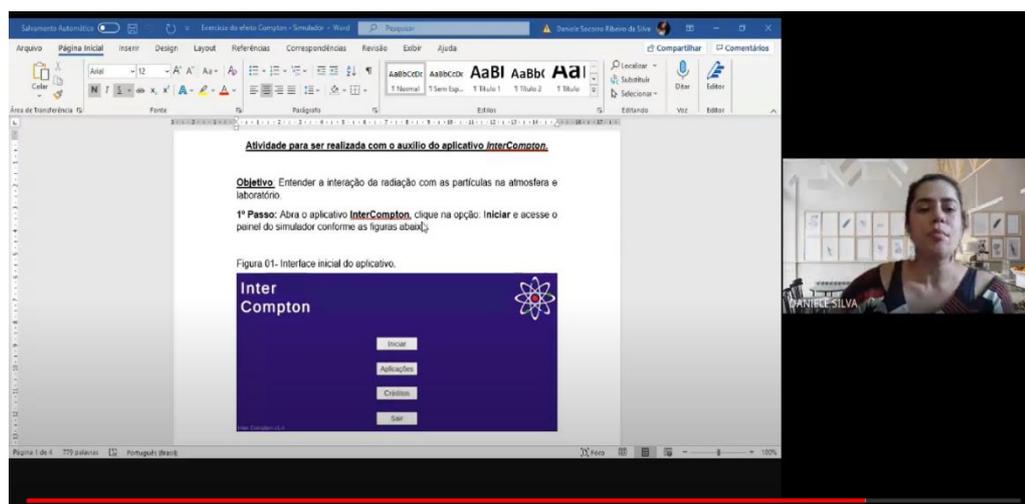
**FIGURA 23 – Momento de apresentação do simulador aos alunos.**



Fonte: Autora

Os estudantes instalaram a versão para *smartphone* e foram acompanhando as orientações e realizando alguns testes seguindo a orientação da docente. Em seguida, os alunos foram instruídos sobre o manuseio do simulador *InterCompton*, via *Google Meet*, e, também, foram estimulados a explorar este simulador utilizando uma atividade sobre o Efeito Compton (confira o Apêndice B) (Figura 24).

**FIGURA 24 – Explicação do exercício sugerido para ser usado com o aplicativo.**



Fonte: Autora

Foi interessante observar o interesse dos estudantes pela simulação do Efeito Compton, pois mesmo com parâmetros limitados, eles se divertiram observando as variações de comportamento e valores do fóton observados na simulação. Foram instruídos a fazerem simulações além das que estavam no exercício.

Quando questionados durante o encontro sobre o que acharam do aplicativo, ouviu-se respostas como:

**Aluno 10:** *“Ele tem só essas opções? Eu queria mais.”*

**Aluno 11:** *“Achei bem legal ver como o fóton se movimenta toda vez que a gente muda o ângulo.”;*

**Aluno 12:** *“É legal porque eu não preciso fazer um monte de conta.”;*

**Aluno 13:** *“Eu achei legal esses simuladores porque a gente está acostumado só a ficar falando de movimento, mudança de valor, de frequência de onda e, com o simulador, dá pra gente ver o que realmente acontece entre o fóton e a matéria.”*

Um dos fatos que mais chamou a atenção dessa professora foram os diálogos entre os alunos. Mesmo estando numa interação online (devido a pandemia COVID-19), quando um aluno fazia uma pergunta referente ao assunto e/ou ao simulador, outro aluno prontamente respondia e depois perguntava a ela se ele estava certo. Foi através desses diálogos, dessa interação entre os estudantes que pude perceber o grau de conhecimento que eles tinham sobre o assunto.

A manifestação de exemplos vindo de alguns alunos davam lugar a dúvida de outros, e assim, o momento mais “divertido” e com uma exposição voluntária dos conhecimentos adquiridos durante o primeiro momento ocorreram na finalização deste segundo momento.

Depois dessa interação entre professor e aluno, foi destinado um tempo para que os estudantes realizassem o exercício sugerido com o aplicativo. Enquanto isso, a docente das turmas ficou *online* à disposição dos alunos para elucidar outros eventuais questionamentos que poderiam surgir no decorrer da prática. Enquanto isso, a docente das turmas ficou *online* à disposição dos alunos para elucidar os eventuais questionamentos que surgiam no decorrer da prática.

Muitos dos questionamentos realizados pelos alunos durante a atividade, se relacionavam diretamente com os vídeos produzidos por eles e os desdobramentos tecnológicos associados ao Efeito Compton, o que fortaleceu a construção do conhecimento sobre o tema pelos mesmos. Estas observações vão ao encontro do que afirmam Bergmann e Sams (2019), que a Sala de Aula Invertida é uma das MA mais representativas na catalisação das habilidades de cognição, pois são todas trabalhadas de maneira simultânea.

Em síntese, o segundo momento foi destinado a discussões sobre o conteúdo dos vídeos gravados pelos alunos, e a explanação do aplicativo *InterCompton* a fim de que as possíveis dificuldades encontradas pelos estudantes fossem minimizadas.

### 4.3 Terceiro Momento

Por fim cronológico, o 3º encontro digital teve duração máxima de 2 dias, tendo em vista que as turmas não apresentaram problemas de conexão à internet e submeteram a atividade solicitada rapidamente.

O terceiro momento marca o fim da aplicação da Sequência Didática. Nele, os alunos tiveram a oportunidade de expor suas impressões, quanto a atividade realizada anteriormente com o aplicativo móvel *InterCompton*.

Para nortear a discussão, a professora da turma fez alguns questionamentos sobre a apresentação de dificuldades no manuseio do *software*; se houve uma compreensão mais efetiva do assunto através da observação da simulação, com parâmetros de valores diversificados, entre outros. Ao responderem os questionamentos, os estudantes em sua maioria se mostraram muito interessados em manusear o aplicativo ao ponto de sugerirem fazer novas atividades utilizando o *InterCompton*. Alegaram que a tecnologia os deixa empolgados e que isso contribui para que possam aprender com mais entusiasmo.

Após a exploração do simulador, foi solicitado que os alunos de ambas as turmas preenchessem um “Questionário de Autoavaliação dos Momentos de Aprendizagem” assíncrono (confira o Apêndice C), via plataforma *Google Forms*, tendo o prazo de 2 dias para o seu preenchimento.

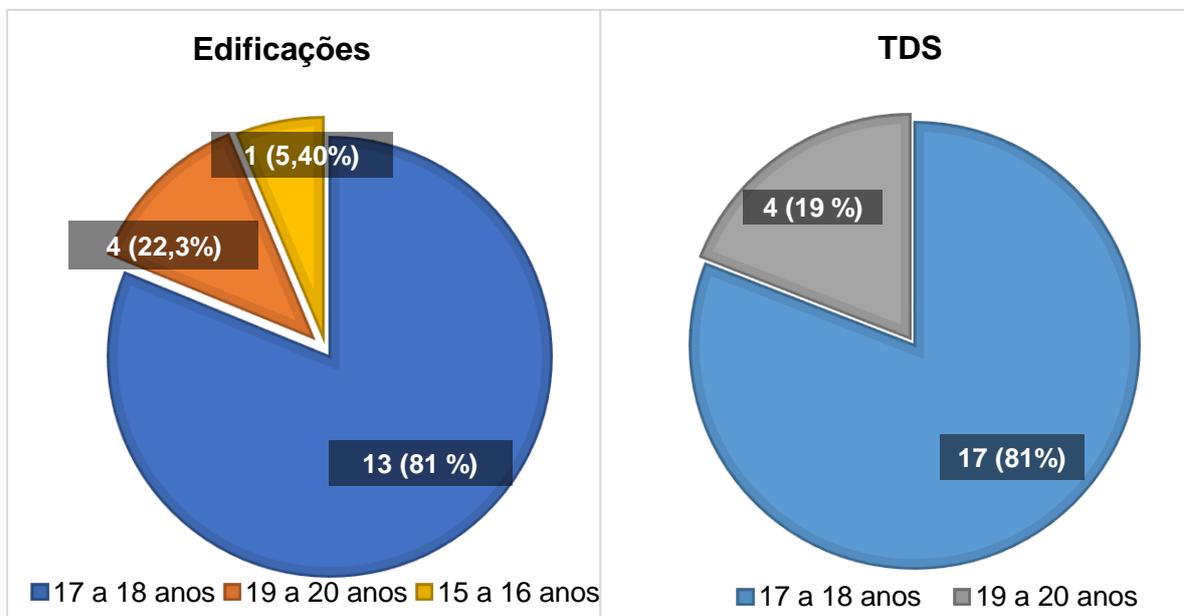
O Questionário de Autoavaliação apresenta 10 questões estruturadas e semiestruturadas (07 objetivas e 03 subjetivas), com o objetivo de obter impressões e dados concretos dos alunos, sobre as atividades desenvolvidas nos momentos pedagógicos de aprendizagem sobre FM, em particular, sobre o Efeito Compton e as estratégias de ensino utilizadas durante a intervenção pedagógica.

Os dados coletados por meio da aplicação do Questionário de Autoavaliação foram tabulados e estão dispostos nos Gráficos 11 a 40, conforme a sequência do questionário alternada para cada turma, seguindo a mesma estrutura de apresentação dos gráficos do primeiro momento.

As respostas às sete primeiras questões objetivas são apresentadas nos **Gráficos 11 a 17**:

### GRÁFICO 11 – Questão 01 (Pós-Teste)

Qual a sua idade?



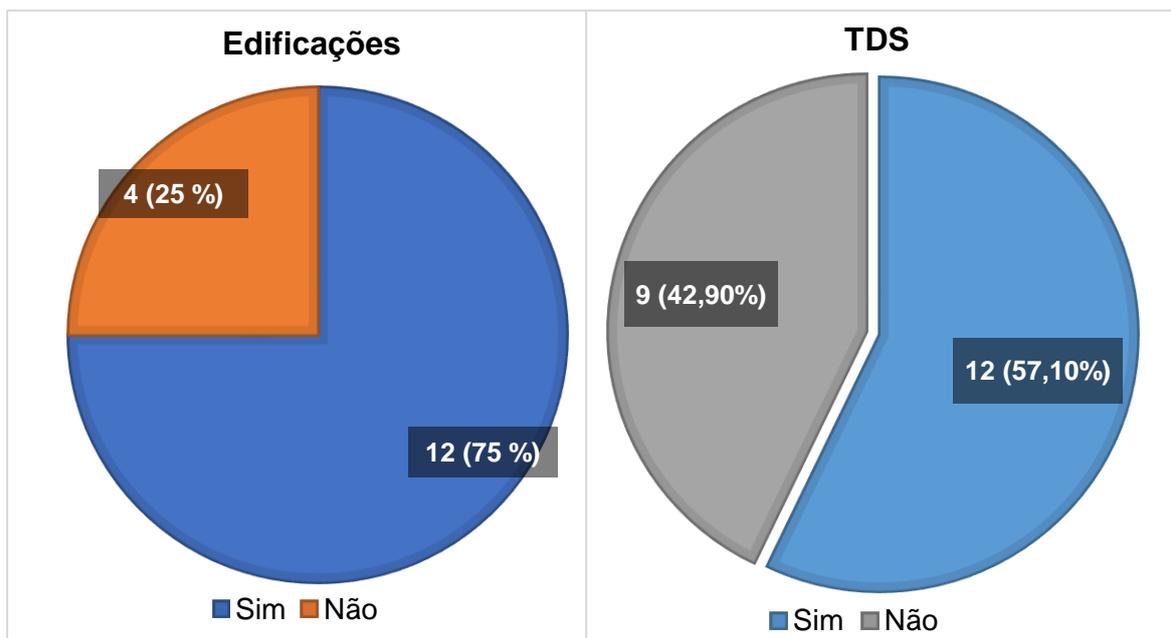
Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 11, 81% da turma de Edificações tem idade entre 17 a 18 anos; 13% têm de 19 a 20 anos e 6% de 15 a 16 anos. Na turma de TDS, 81% dos alunos têm idade entre 17 a 18 anos; e 19% dos mesmos têm de 19 a 20 anos.

Os Gráficos demonstram que ambas as turmas têm um perfil bem jovem, como era esperado. Por isso, a Sequência Didática foi pensada para esta faixa etária que, do ponto de vista educacional, se interessa por demandas mais breves durante as aulas, bem como, por recursos imagéticos que possam tornar a aula mais atrativa.

### GRÁFICO 12 – Questão 02 (Pós-Teste)

Na escola, você já havia tido contato com algum tópico da Física Moderna?



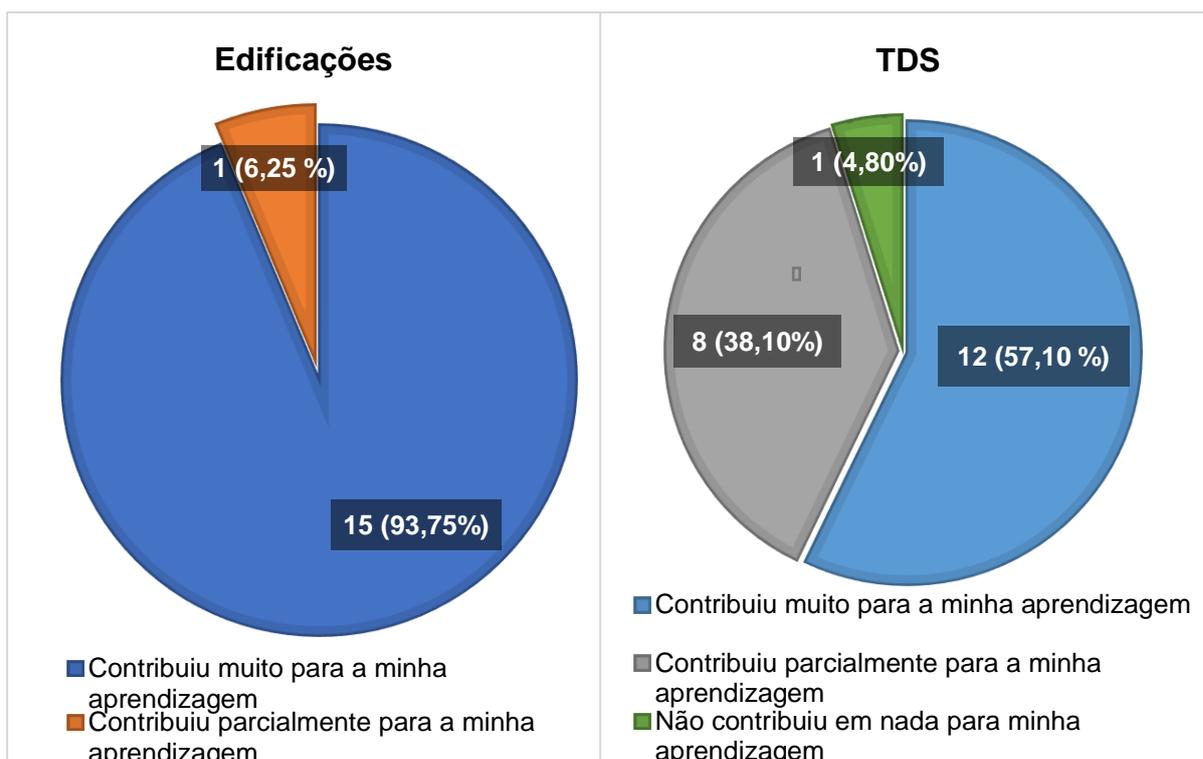
Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 12, 75% dos alunos da turma de Edificações admitem já terem tido contato com algum conteúdo de FM na escola, em anos anteriores; já 25% revelaram nunca terem tido contato com essa temática. Ainda de acordo com o gráfico, 57,10% dos alunos da turma de TDS afirmaram que já tiveram contato com algum conteúdo sobre FM na escola, em situações anteriores; enquanto 43,90% dos mesmos afirmaram que nunca tiveram contato escolar com algum assunto sobre FM.

Comparando os dados de ambas as turmas sobre a Questão 2, os resultados obtidos parecem convergir para o mesmo ponto: os alunos reconhecem contato prévio com a FM, no âmbito escolar, porém supõe-se que esse contato prévio não lhes garante uma boa articulação entre FM e situações-problemas reais.

### GRÁFICO 13 – Questão 03 (Pós-Teste)

Em relação à aprendizagem do Efeito Compton, o que você achou da metodologia utilizada nesses momentos de aprendizagem?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

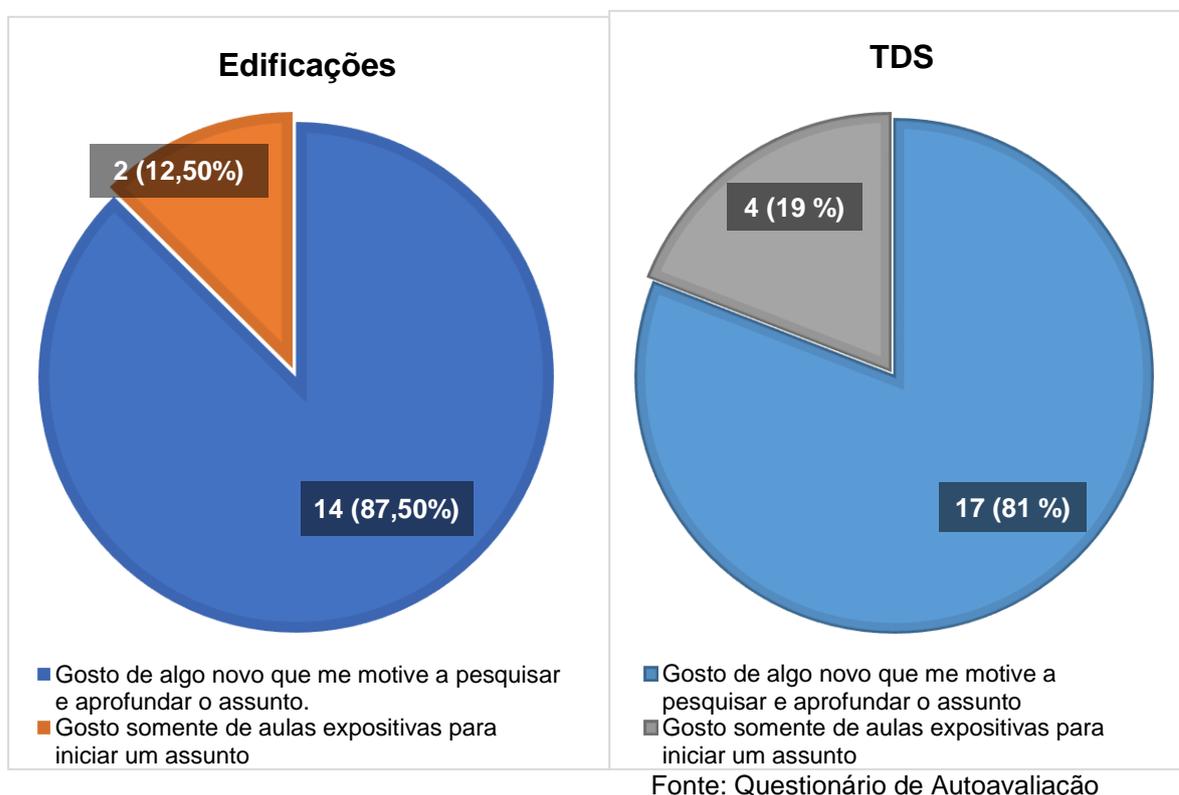
De acordo com o Gráfico 13, 93,75% dos alunos da turma de Edificações afirmaram que a metodologia utilizada nas aulas contribuiu, de maneira significativa, para o processo de aprendizagem; enquanto 6,25% dos mesmos disseram que a metodologia utilizada contribuiu parcialmente no processo de aprendizagem. Nesse sentido, percebe-se que a referida turma avaliou positivamente os preceitos metodológicos mobilizados pela professora.

Ainda conforme o gráfico, 57,10% dos alunos da turma de TDS afirmaram que a metodologia utilizada nas aulas contribuiu muito para o processo de aprendizagem; enquanto 38,10% dos mesmos disseram que a metodologia utilizada contribuiu parcialmente no processo de aprendizagem e 4,80% afirmaram que o passo a passo metodológico em nada contribuiu para sua aprendizagem.

Diferentemente do que revela os dados coletados na turma de Edificações, os dados da turma de TDS para a Questão 3 revelaram que um aluno apresenta descontentamento explícito sobre as práticas metodológicas mobilizadas. Ainda que esta insatisfação tenha sido indicada pela porcentagem mais baixa do gráfico, há de se levar em conta prováveis fatores que levaram a esta estatística, tais como: possível dificuldade com o manejo tecnológico, bem como, a cultura de preferência pelo ensino presencial, ainda muito latente no Brasil.

### GRÁFICO 14 – Questão 04 (Pós-Teste)

O que você pensa sobre as aulas expositivas tradicionais para iniciar o novo conteúdo de Física?



De acordo com o Gráfico 14, 87,50% dos alunos da turma de Edificações afirmaram que gostam de aulas inovadoras, que possam incentivar o aprofundamento do conteúdo de maneira prazerosa; já 12,50% dos mesmos dizem que gostam apenas das aulas expositivas no momento de introdução do assunto.

Ainda de acordo com o gráfico, 28, 81% dos alunos gostam de aulas inovadoras que possam incentivá-los a se aprofundarem no assunto; enquanto 19% dos mesmos gostam de aulas expositivas para iniciar o assunto. Portanto, ambas as turmas pesquisadas apresentam dados estatísticos próximos, de maneira a convergirem no desejo de aulas mais ativas e inovadoras.

Nesse sentido, alguns alunos (em ambas as turmas) se manifestaram verbalmente a favor de aulas galgadas na possibilidade de reinvenção, capazes de prender a atenção dos alunos durante as aulas e, assim, serem eficientes.

O **Aluno 14** da turma de Edificações disse: *“Gosto de algo novo que me motive a pesquisar e aprofundar o assunto”*. Ainda de acordo com ele, para a aula se tornar atrativa, é necessário que o professor seja criativo e, com isso, consiga mobilizar

instrumentos capazes de desenvolver o assunto, positivamente, sem perder a leveza de uma aula interativa.

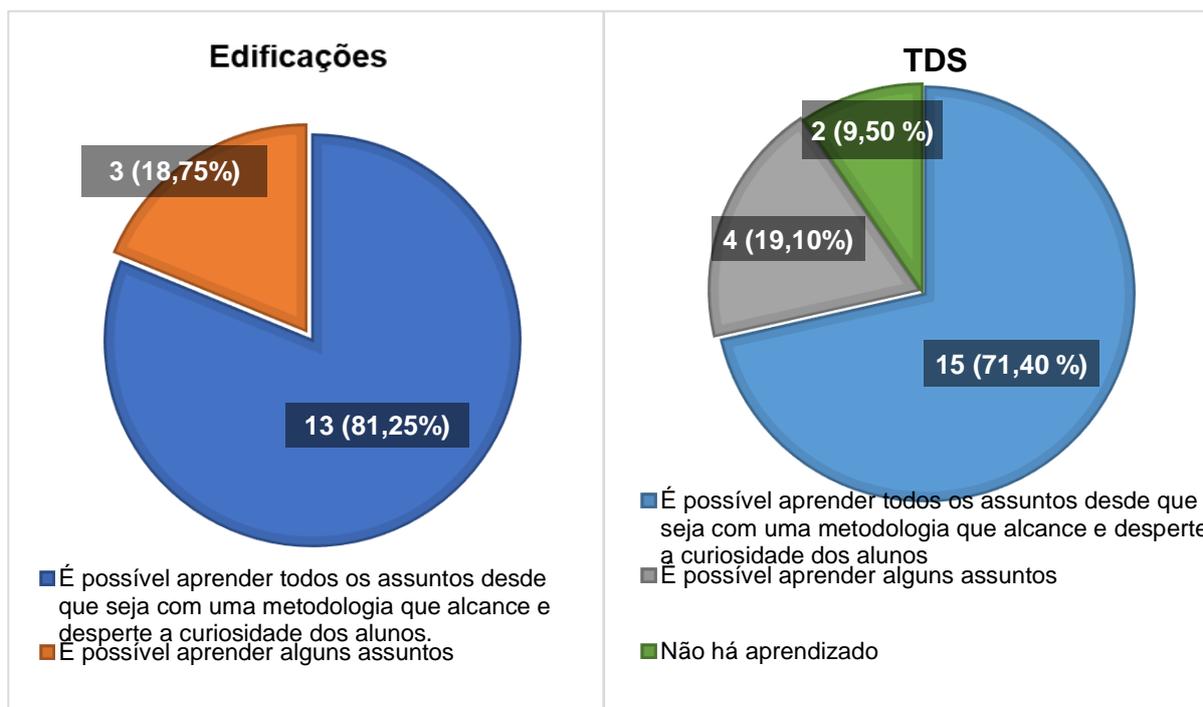
Já o **Aluno 15** da turma de TDS disse: *“É possível aprender todos os assuntos, desde que seja de um jeito que desperte a curiosidade”*. Nas concepções desse aluno, todo modelo de ensino: remoto, tradicional ou ativo tem valor pedagógico, desde que consiga promover aprendizagem de maneira satisfatória. Nesse sentido, o diferencial estaria na própria desenvoltura do professor, bem como, na sua relação com a turma.

Os olhares mencionados anteriormente são fundamentais para essa pesquisa de mestrado, partindo do princípio de que, muitas vezes, o distanciamento do aluno da componente curricular não é algo que se esgota na sala de aula em si, pelo contrário. Podem ocorrer diversas forças ideológicas que podem causar esse desalinhamento. É nesse campo que o professor também deve assumir postura ativa e, assim como o aluno, procurar meios que sejam eficientes e eficazes na ressignificação de sua própria prática pedagógica.

Entretanto, consideramos importante pontuar que a relação entre aluno e professor, nesta pesquisa, foi mediada pela tecnologia móvel e por várias ferramentas tecnológicas utilizadas à exaustão, durante o período pandêmico. Nesse sentido, alertamos ao fato da necessidade de se utilizar esses recursos com cautela no momento em que estamos tendo em vista, que a prática ativa não se esgota nos recursos em si, mas no bom uso que se faz deles.

### **GRÁFICO 15 – Questão 05 (Pós-Teste)**

O que você pensa sobre o ensino remoto para as aulas de física?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 15, 81,25% dos alunos da turma de Edificações afirmaram que o ensino remoto pode ser eficiente e eficaz, desde que o professor utilize uma metodologia criativa e incentivadora; já 18,75% dos mesmos afirmam que o ensino remoto possibilita a aprendizagem de alguns assuntos, não todos. O olhar restritivo dos alunos, estatisticamente comprovado, representa o processo de dificuldade de aceitação do modelo remoto, algo bastante latente no cenário de ensino no Brasil.

Ainda de acordo com o gráfico, 71,40% dos alunos da turma de TDS afirmam que é possível aprender todos os assuntos no sistema educacional remoto, desde que a metodologia utilizada seja convidativa e criativa; 19,10% dos respondentes acreditam que a educação remota possa auxiliar na aprendizagem apenas de alguns assuntos; já 9,50% dos mesmos afirmam que não há aprendizado nas aulas remotas.

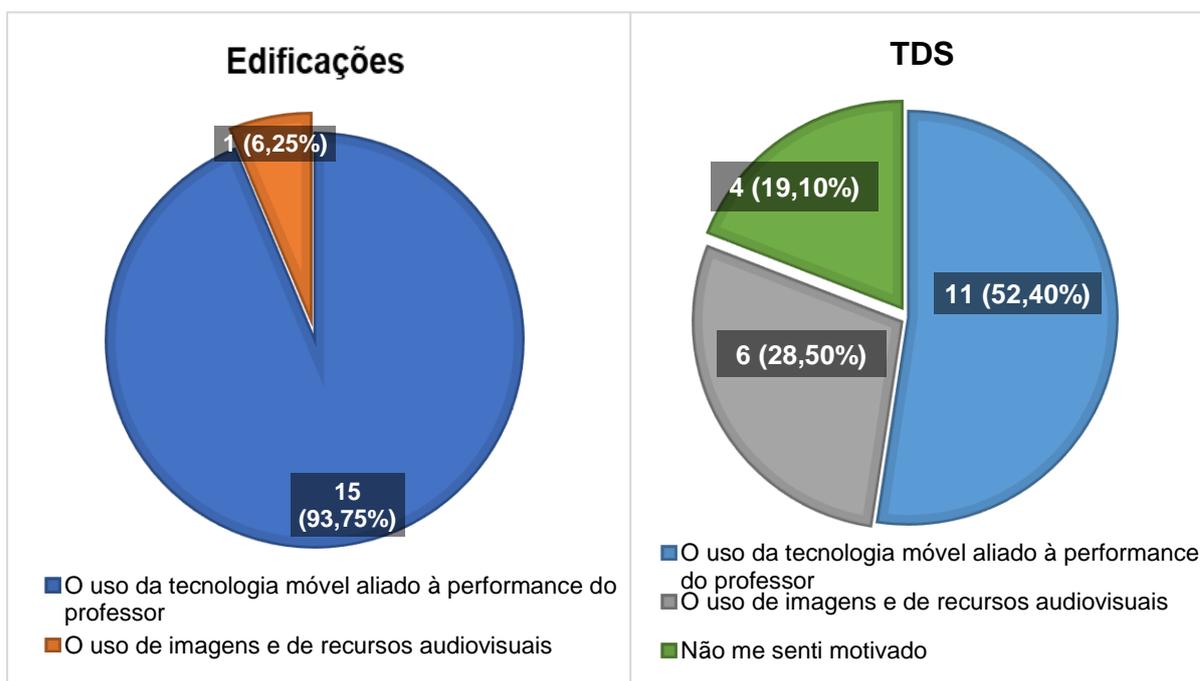
Percebe-se que, ainda predominando a ideia de que a educação remota pode atuar de maneira eficiente e eficaz no ensino de Física, tal como é apresentado no Gráfico 15, as estatísticas mostram um percentual, ainda que pequeno, de explícita insatisfação com o ensino remoto.

Destes resultados, percebe-se que o modelo remoto tem valor pedagógico, desde que consiga promover o processo de ensino e aprendizagem de maneira significativa. Para isso, o professor deve ser criativo e, assim, consiga mobilizar

instrumentos capazes de desenvolver o assunto, positivamente, sem perder a leveza de uma aula interativa.

### GRÁFICO 16 – Questão 06 (Pós-Teste)

O que mais motivou-te durante as aulas de física?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

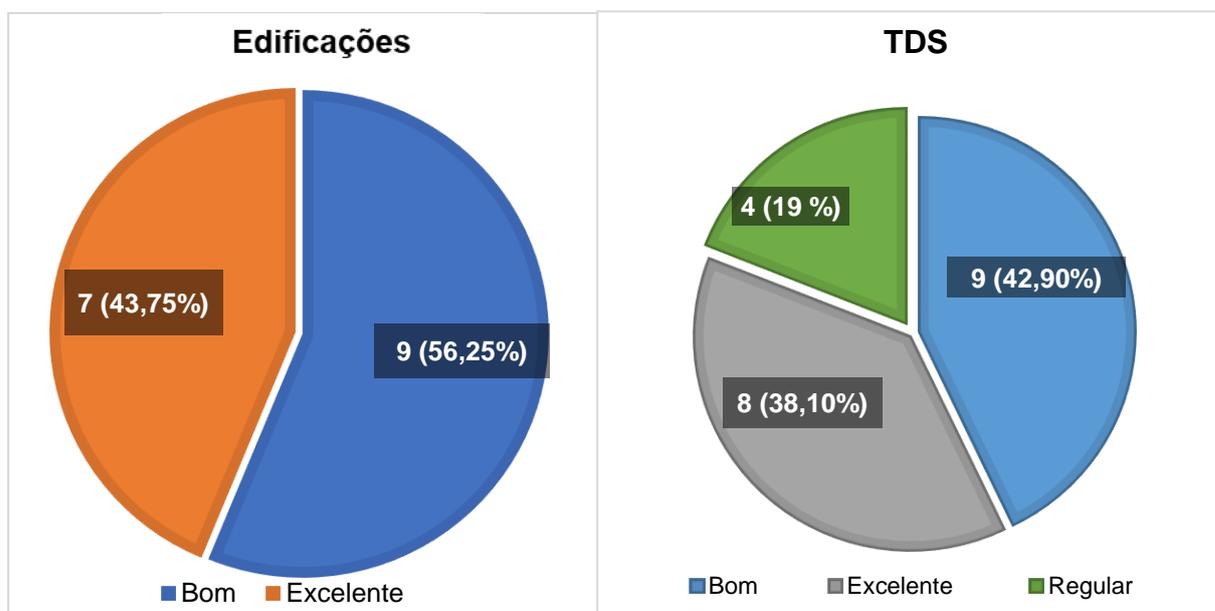
De acordo com o Gráfico 16, 93,75% dos alunos de Edificações afirmaram que a maior motivação nas aulas de Física foi o uso da tecnologia móvel, articulada à metodologia da professora; já 6,25% dos mesmos se sentiram motivados pelo uso de imagens e de recursos audiovisuais.

Ainda conforme o gráfico, 52,40% dos alunos da turma de TDS afirmaram que a principal motivação nas aulas de Física foi o uso da tecnologia móvel, aliada à performance da professora; já 28,50% dos respondentes disseram que a maior motivação foi o uso de imagens e de recursos audiovisuais; enquanto 19,10% dos mesmos disseram que não se sentiram motivados por nada durante as aulas.

Mais uma vez, a turma de TDS apresentou uma pequena dissonância estatística nos seus dados, em comparação ao que foi revelado pela mensuração dos dados da turma de Edificações. Nesta, houve uma porcentagem um pouco maior que pode ser relacionada à resistência com a metodologia mobilizada pela professora, diferentemente da turma de Edificações.

### GRÁFICO 17 – Questão 07 (Pós-Teste)

Como você avalia a maneira como o Efeito Compton foi trabalhado no ensino remoto?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

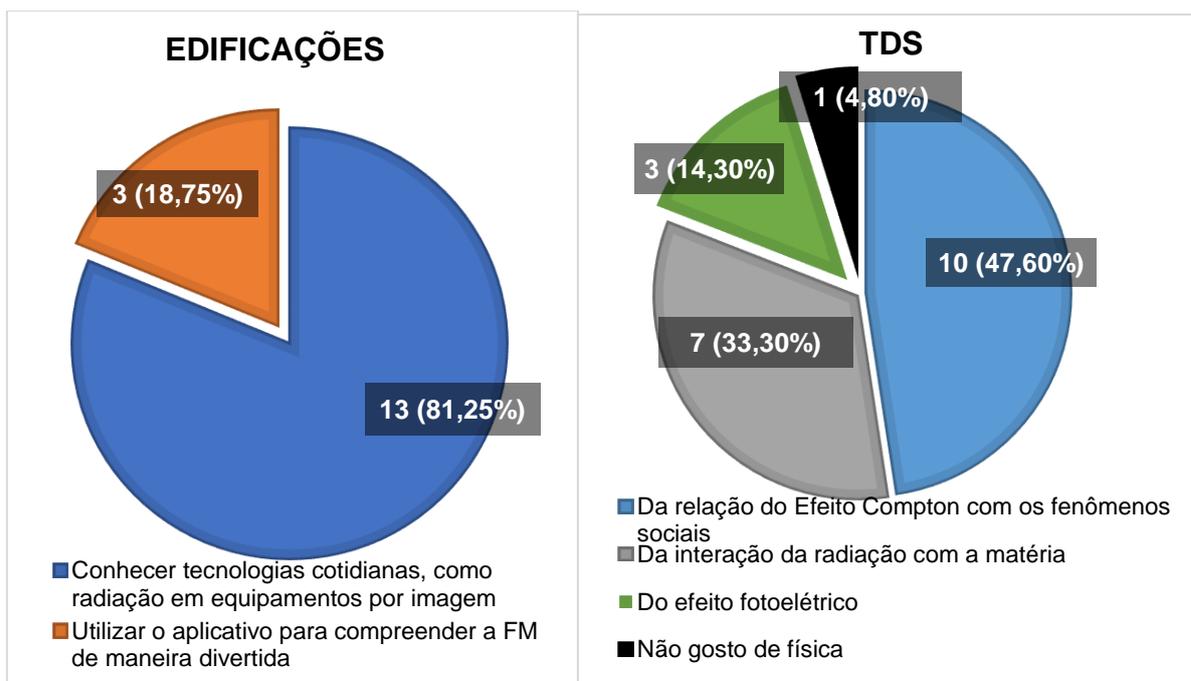
De acordo com o Gráfico 17, 56,25% dos alunos respondentes da turma de Edificações disseram que o ensino do Efeito Compton na educação remota foi bom; já 43,75% dos mesmos avaliaram como excelente. Consideramos que ambas as respostas tabuladas revelam uma boa aceitação discente frente à intervenção analisada nesta dissertação.

Ainda de acordo com o gráfico, 42,90% dos alunos da turma de TDS afirmaram que o ensino do Efeito Compton na educação remota pode ser avaliado como bom; 38,10% dos respondentes avaliam como excelente; e 19% dos mesmos avaliam como regular.

A dissonância entre os dados estatísticos comprova, mais uma vez, uma resistência ou dificuldade maior, por parte dos alunos de TDS, em relação ao conteúdo trabalhado e as metodologias empregadas, durante o processo de ensino e aprendizagem.

### GRÁFICO 18 – Questão 08 (Pós-Teste)

Sobre o Efeito Compton, relate, brevemente, o que você mais gostou de aprender sobre ele.



Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 18, 81,25% dos alunos da turma de Edificações responderam que gostaram de aprender sobre as tecnologias cotidianas associadas ao Efeito Compton, como a radiação em equipamentos por imagem. Já 18,75% disseram que gostaram de utilizar o aplicativo para compreender a FM de uma maneira divertida.

Ainda conforme o gráfico, 47,60% dos alunos da turma de TDS responderam que, sobre o Efeito Compton, gostaram de aprender sobre a sua relação com os fenômenos sociais; já 33,30% disseram ter gostado de aprender sobre a interação da radiação com a matéria; 14,30% relataram sobre o efeito fotoelétrico; e 4,80% afirmaram não gostar de Física, logo nada lhes pareceu atrativo.

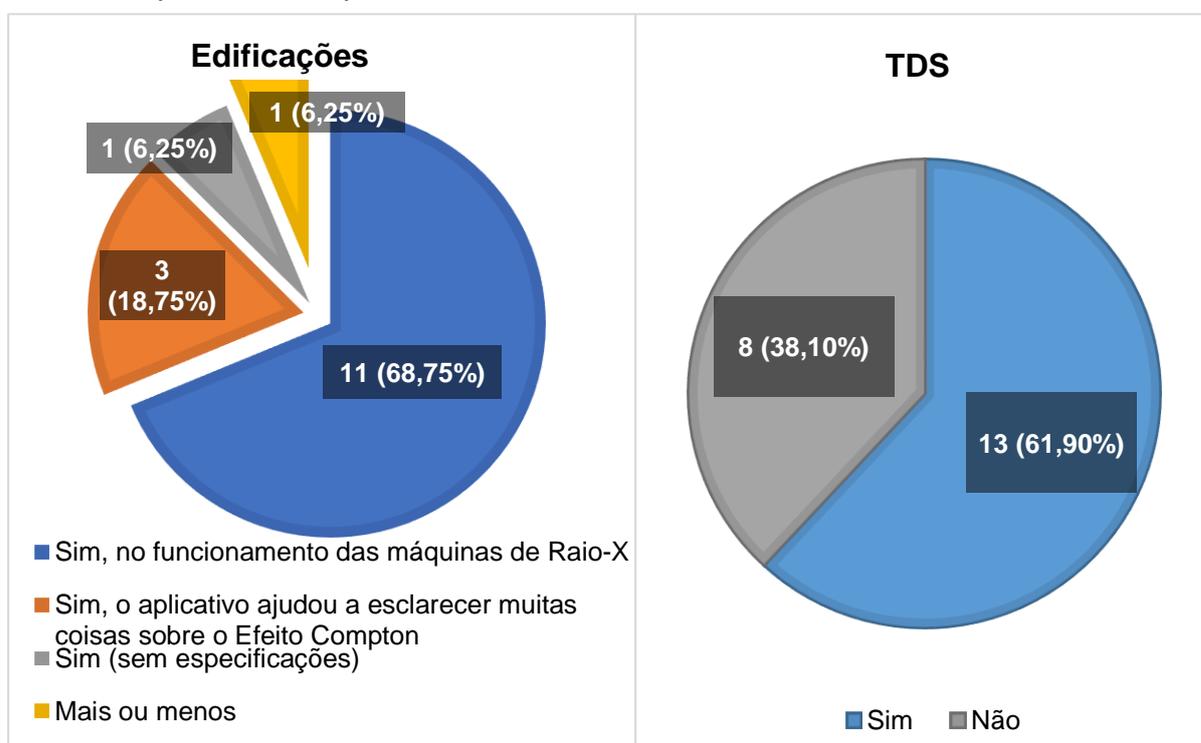
A primeira questão subjetiva do Questionário de Autoavaliação evidenciou, para ambas as turmas, que houve uma boa aceitação do método CTSA, para o Ensino do Efeito Compton, visto que os aspectos mais elogiados estavam associados às tecnologias e aos aspectos sociais do fenômeno estudado.

Entretanto, o fato inusitado é que houve alunos da turma de TDS que elogiaram aspectos ligados ao efeito fotoelétrico, que foi mencionado de maneira superficial, durante os encontros virtuais. Além disso, o percentual de alunos que não demonstram interesse em Física, embora baixo, não deve ser ignorado. Pelo contrário, este percentual deve estimular a adequação de algumas estratégias

metodológicas, para que tais alunos possam se sentir mais atraídos por esta área da ciência e possam se engajar de forma mais ativa nas atividades propostas.

### GRÁFICO 19 – Questão 09 (Pós-Teste)

Você consegue estabelecer alguma relação entre o que você aprendeu sobre Efeito Compton e a sua prática diária?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 19, 68,75% dos alunos da turma de Edificações responderam que sim, associando o efeito estudado com o funcionamento das máquinas de raio-x; 18,75% disseram que sim, associando o uso do aplicativo do simulador ao esclarecimento de muitas informações sobre o efeito estudado; 6,25% disseram simplesmente que sim, sem justificar a resposta; e 6,25% disseram mais ou menos, sem justificar a resposta.

De ponto de vista estatístico, os dados revelam resultados positivos no que se refere ao simulador, como articulador entre conteúdo ministrado e situações-problemas reais. Nas palavras de um aluno da turma:

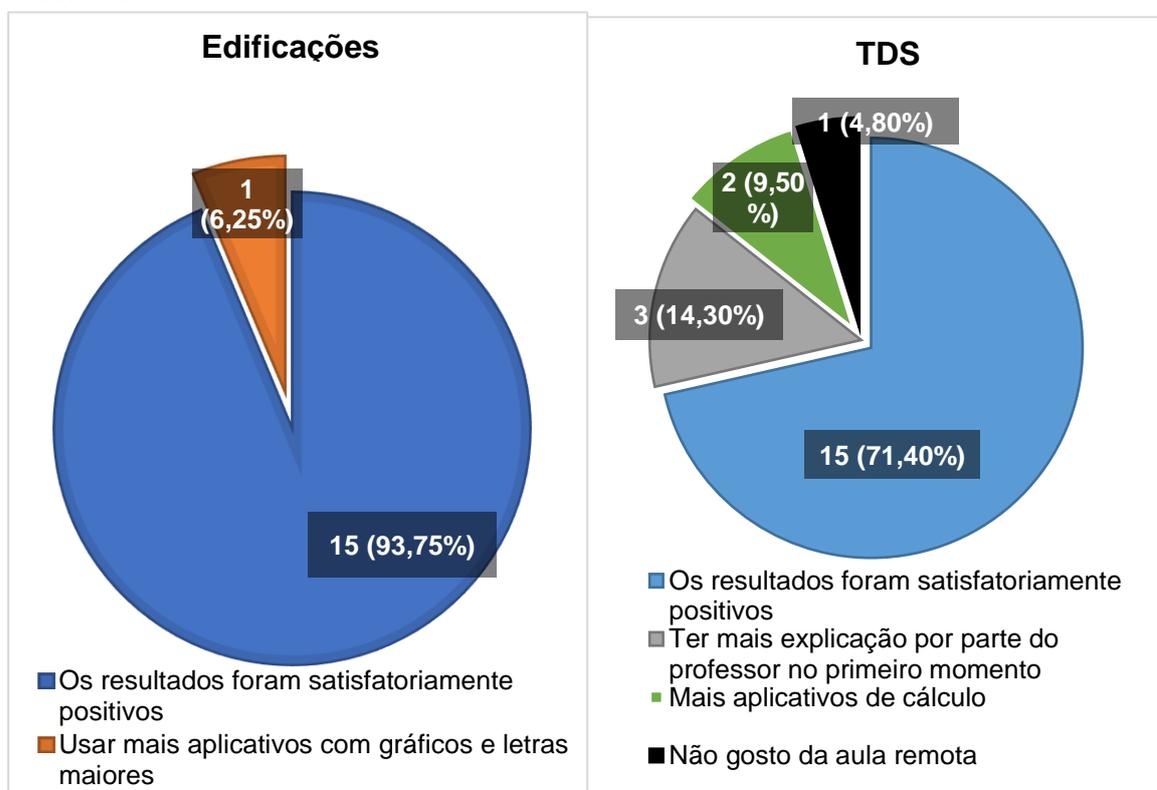
**Aluno 15:** “Sim. Gostei de aprender onde a gente pode ver o efeito. Achei muito legal a interação da radiação com a matéria no Raio X e aparelhos para ver as colunas de concreto.”

As palavras do **Aluno 15** validam a experiência da investigação, pois o ajudou a compreender, com mais veemência, fenômenos físicos variados. Além disso, aquelas palavras simbolizam um grau de satisfação positivo do aluno com o procedimento metodológico da SD, o que é muito significativo quando fazemos referência ao ensino como algo processual.

De acordo com o Gráfico 38, 61,90% dos alunos da turma de TDS afirmaram que conseguiam relacionar o Efeito Compton com seu cotidiano, enquanto 38,10% disseram que não. Entretanto, nenhum aluno apresentou justificativas para nenhuma das respostas obtidas.

### GRÁFICO 20 – Questão 10 (Pós-Teste)

De maneira resumida, você teria algo a sugerir para o melhoramento das aulas remotas sobre Efeito Compton? ou acredita que os resultados foram satisfatoriamente positivos?



Fonte: Questionário de Autoavaliação

De acordo com o Gráfico 20, 93,75% dos alunos da turma de Edificações afirmaram que os resultados foram satisfatoriamente positivos, não apresentando nenhuma sugestão de melhoramento da prática pedagógica. Já 6,25% dos

respondentes avaliam os resultados como positivos, porém sugerem o uso de mais aplicativos com gráficos e letras maiores.

A crítica construtiva a respeito do tamanho das fontes no aplicativo do simulador foi muito bem-vinda e será implementada na próxima versão do simulador computacional.

Muitos alunos teceram elogios às aulas no formato aplicado. Nas palavras do **Aluno 16**: *“Os resultados foram satisfatórios pra mim. Eu achei legal. Algumas aulas remotas são muito cansativas, mas dá pra aprender. É a gente querer e fazer algumas coisas diferentes.”*

A fala do **Aluno 16** é pertinente, principalmente, porque nos faz considerar o poder catalisador das MA no processo de ensino e de aprendizagem e, como o fato de colocar o aluno como protagonista do processo pode influenciar positivamente no desempenho de suas habilidades cognitivas. Apontamos, nesse sentido, a criatividade como elemento propulsor para esse desenvolvimento, pois o dinamismo dos encontros foi moldado a partir das inserções criativas dos alunos.

De acordo com o Gráfico 40, 71,40% dos alunos da turma de TDS entendem que os resultados foram satisfatoriamente positivos; 14,30% acreditam que o professor deve explicar mais detalhes sobre o assunto na introdução das aulas; 9,50% acreditam que o uso de mais aplicativos de cálculos pode colaborar para que os resultados sejam melhores; e 4,80% afirmam não serem simpatizantes das aulas remotas.

O uso de mais aplicativos de cálculos pode ser visto como uma possibilidade pertinente, a saber das habilidades que devem ser trabalhadas nas respectivas aulas. Neste sentido

Muitos alunos desta turma manifestaram sua insatisfação com o modelo de ensino remoto, mesmo tendo elogiado o formato geral das aulas sobre o Efeito Compton. Vejamos uma colaboração com as discussões:

**Aluno 17**: *“Os resultados foram satisfatórios. Eu aprendi muito. O negócio é que essas aulas remotas, nem todas são legais. Tem professores que se esforçam trazem novidades, mas outros, não estão nem aí.”*

A fala recortada do **Aluno 17** é de suma importância para repensarmos de maneira justa a readaptação repentina que a educação tem passado no planeta. Ao reconhecer que muitos professores se esforçam para avançar no sistema remoto, o

discente nos atenta que é necessário reconhecer os esforços do professor da educação brasileira, ainda que, em muitos casos, não tenham tido êxito. Entretanto, o efeito eficiente das MA utilizadas também se mostrara satisfatórias aqui, pois conseguiu colocar esses esforços docentes em práticas, viabilizando, assim, o ensino de Física.

Finalizando este momento e a aplicação da SD, percebeu-se que no processo de treinamento para o uso do simulador, foram trabalhadas diversas habilidades dos alunos, essenciais à aprendizagem do Efeito Compton, tais como: raciocínio lógico, interpretação, competências com o uso da tecnologia e, principalmente, a capacidade de correlacionar o conteúdo estudados, com as práticas sociais concretas em que estão inseridos.

Nesse sentido, a professora também alertou os alunos sobre o uso das cores que foram aparecendo no decorrer da utilização do simulador. Para isso, levou-se em consideração que, no contexto do ensino de Física, a perspectiva visual é propulsora para construção de sentidos e promoção da aprendizagem e do ensino.

Para que os alunos entendessem que o simulador contemplava questões reais de uso, a professora procurou exemplos cotidianos, para que a aula se tornasse também mais leve. Diante disso, a docente atentou ao fato de não ser necessário se apegar aos cálculos como único ponto de interesse do assunto, desconstruindo, assim, um imaginário acerca da Física na escola.

A proposta do simulador, então, se torna intimamente ligada ao desenvolvimento do raciocínio humano em si, e não à fixação de formas matemáticas sem articulação com o mundo real em que estes alunos atuam.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta dissertação, foi apresentada uma proposta de intervenção didática-pedagógica, a partir de uma Sequência Didática voltada para o ensino de Física Moderna na educação básica que culminou na elaboração de um produto educacional (confira o Apêndice D). Esta SD foi aplicada em duas turmas do 3º ano do ensino médio, ofertadas pelo IFPA – Campus de Bragança, gerando resultados promissores na validação da proposta.

Adotou-se a Sala de Aula Invertida como estratégia didática das MA, associada a uma abordagem CTSA do processo de ensino e aprendizagem do Efeito Compton. Nesse contexto, foi lançado mão da criação de um simulador computacional capaz de desenvolver as habilidades dos alunos de maneira eficiente e eficaz, ao passo que utilizamos a tecnologia móvel como ferramenta viabilizadora do percurso investigativo. Acreditamos, também, que o momento pandêmico em que vivemos tenha colaborado para que esta pesquisa apresentasse os resultados mapeados, visto que o celular tem se tornado elementar no âmbito do ensino remoto.

Com a aplicação da Sequência Didática, a partir da perspectiva das MA, conseguimos entender que a referida pesquisa apresentou resultados satisfatórios, pois, conforme a análise do *corpus*, os alunos desenvolveram habilidade de autonomia, raciocínio lógico, interpretação e leitura crítica, de maneira simultânea. No que compete às MA, entende-se que o resultado semiotizado tenha sido significativo, partindo do pressuposto de que, ao se ver protagonista do processo de ensino e de aprendizagem, o aluno sentiu-se atraído por uma rotina totalmente diferente àquela em que estava costumeiramente inserido.

Os resultados da referida proposta também são inovadores no sentido de que nos alertam para um ensino de Física menos abstrato e mais voltado às práticas sociais mais complexas, de maneira a incentivar uma percepção do discente mais sistêmica do Efeito Compton em domínios não escolares. Isso nos é visto como um avanço, partindo da premissa de que a Física é um componente curricular que, infelizmente, ainda é bastante vista por uma ótica bastante abstrata, que se esgota na esfera escolarizada. Desse modo, foi possível observar que os alunos apresentaram indícios de uma aprendizagem significativa a partir dos trabalhos realizados.

No que se refere aos objetivos elencados na Introdução desta dissertação, afirmamos, também, que conseguimos contemplar a todos, de maneira a evidenciar a

relevância da referida proposta. *A priori*, consideremos o seguinte objetivo geral desta dissertação: Propor o Ensino de FM na Educação Básica, a partir da abordagem do Efeito Compton, das orientações da MA “Sala de Aula Invertida” e do uso de um aparelho móvel. Este objetivo, por sua vez, foi contemplado em todo o percurso deste trabalho, pois considera-se que a execução da Sequência Didática a que fazemos referência conseguiu desenvolver atividades cognitivas dos alunos envolvidos, a partir da tecnologia móvel, como TDIC pertinente ao contexto em que se opera.

Ainda nos referindo aos objetivos alcançados, discorre-se acerca dos objetivos específicos desta pesquisa. O primeiro deles, “Construir uma Sequência Didática que apresente uma proposta viável do uso de simulador, como recurso educacional de apoio ao professor de Física do Ensino Médio, para abordar o conteúdo Efeito Compton”, foi contemplado no segundo capítulo desta dissertação, ao descrevermos os procedimentos de criação e execução da referida sequência. Com a ilustração do passo-a-passo do material didático, a partir das MA, atenta ao fato de que, por motivos científicos, a reação dos alunos, sujeitos de pesquisa, poderia render dados satisfatórios ou não à comunidade de pesquisa, pois entende-se a Sequência Didática como sugestão metodológica, o que a torna passível de modificações no contexto a ser aplicada.

Já o segundo objetivo específico, “Aplicar a Sequência Didática no município de Bragança (PA) nas turmas de 3ª série do Ensino Técnico integrado ao Ensino Médio – Curso de Edificações e Curso de TDS, foi contemplado no quarto capítulo desta dissertação, ao apresentamos os procedimentos metodológicos que adotamos para assegurar uma execução da pesquisa, da maneira mais facilitada possível. Neste capítulo, apresentamos o contexto das turmas em que a intervenção iria acontecer e, a partir disso, apresentamos também os procedimentos para aplicação da Sequência Didática.

Por fim, o terceiro e último objetivo específico, “Validar a Sequência Didática junto aos discentes envolvidos na pesquisa”, foi contemplado no quinto capítulo desta dissertação de mestrado, ao apresentarmos os resultados obtidos a partir da aplicação da Sequência Didática. Nisso, entende-se que o termo “validar” está relacionado ao fato de evidenciar analiticamente os resultados coletados, o que, de fato, nos interessa nesta pesquisa. Nesse sentido, valida-se a aplicação da Sequência Didática e do uso do simulador a partir de dados de diferentes naturezas, os quais colaboraram para o processo de triangulação. Este, por sua vez, nos garantiu uma

verossimilhança às nossas discussões, pois as conclusões a que chega obedecem ao ato analógico entre diferentes perspectivas de *corpus*.

Portanto, foi reforçado que os resultados nos apresentam como semitizações satisfatórias de intervenção no ensino do Efeito Compton, partindo do pressuposto de que as MA emergiram como possibilidade catalisadoras das habilidades cognitivas do aluno, o que extrapola o limite das colaborações de caráter unicamente matemático, algo já bastante projetado no discente em uma cultura escolarizada. Esperamos que tais resultados possam incentivar a comunidade acadêmica para o desenvolvimento de pesquisas similares, em momentos vindouros no espaço de diálogo científico.

## 6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. V. **A energia ao longo da História: uma abordagem CTSA**. 46 fls. Monografia (Graduação). Universidade Federal Fluminense. Brasília, 2017.

ALMEIDA, E. S. **A Investigação Temática na perspectiva da articulação Freire-CTS**. 128 fls. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, 2018.

ANASTACIO, Marco Antonio Sanches; VOELZKE, Marcos Rincon. O uso do aplicativo Socrative como ferramenta de engajamento no processo de aprendizagem: uma aplicação das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação no ensino de Física. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. 17, 2020.

ANGHAIE, Samim.; HUMPHRIES, Larry. L. e DIAZ, Nils. J. **Material Characterization and Flaw Detection, Sizing, and Location by the Differential Gamma Scattering Spectroscopy Technique**. Part II: Experiment Nuclear Technology, v. 91, n. 03, p. 376-387, 1990

BARBOSA, Eduardo Fernandes; DE MOURA, Dácio Guimarães. Metodologias ativas de aprendizagem na educação profissional e tecnológica. **Boletim Técnico do Senac**, v. 39, n. 2, p. 48-67, 2013.

BARBOSA, Felipe Araújo; MACHADO, Cassiana Barreto Hygino; JUNIOR, Edmundo Rodrigues; LINHARES, Marília Paixão. Abordagem “Ciência, Tecnologia e Sociedade” (CTS) no ensino de Física: uma proposta na formação inicial de professores. *Ensino & Pesquisa*, v. 15, n. 1, p. 158-178, 2017.

BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**. Tradução Afoncelso da Cunha Serra 1. ed. [Reimpr.] Rio de Janeiro: LCT, 2019.

BOLDO, Emerson M.; APOLLONI, Carlos R. **Aplicações do espalhamento Compton de Raios Gama**. LFNATEC. Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada, v. 14, n. 01, julho 2010.

BORBA, Marcelo de Carvalho; LACERDA, Hannah Dora Garcia. Educação Matemática e Pesquisa, São Paulo, v.17, n.3, pp.490-507, 2015 São Paulo, 2015.

BUSATTO, Cassiano Zolet; SILVA, Júpiter Cirilo da Roza; JUNIOR, Neclito Pansera; PÉREZ, Carlos Ariel Samudio. **O ensino de física moderna e contemporânea na educação básica: conteúdos trabalhados pelos docentes**. Revista CIATEC – UPF, vol.10. 2018.

BRASIL, Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília, MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, MEC, 2018.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. 2ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016

CAMARGO, Fausto; DAROS, Thuinie. **A sala de aula inovadora-estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo**. Penso Editora, 2018.

CONDE, Bruno Jorge Mendes. **Das concepções alternativas às concepções científicas com metodologias ativas de aprendizagem e utilização de simuladores: uma intervenção didática para a aprendizagem da Física do som**. 152 fls. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Educação e Ciências Sociais, 2021.

CUNHA, A. R.; GOMES, G. G. **Física Moderna no Ensino Médio e sua necessidade de sincronização conceitual**. Física na Escola, v. 13, n. 1, p. 8-9, 2012.

CHIARO, Sylvia De; AQUINO, Kátia Aparecida da Silva. **Argumentação na sala de aula e seu potencial metacognitivo como caminho para um enfoque CTS no ensino de química: uma proposta analítica**. Educação e Pesquisa, v. 43, p. 411-426, 2017.

COSTA, Edith Gonçalves. **Ensino de Ciências na Educação Infantil: uma proposta lúdica na abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade**. 201 fls. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, 2020.

D'ANDREA, Alexandre Dimas Queiroz. **Câmara de Wilson eletrônica para o auxílio na aprendizagem de física moderna no ensino médio**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências Exatas. Universidade Federal de São Carlos. 128 f. 2014.

DA SILVA, João Ricardo Neves; ARENGHI, Luís Eduardo Birello; LINO, Alex. **Por que inserir física moderna e contemporânea no ensino médio? Uma revisão das justificativas dos trabalhos acadêmicos**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 6, n. 1, 2013.

DA SILVA, Daniele Socorro Ribeiro; PINHEIRO, Rafael Pires. **Análise de algumas publicações de Física Moderna no contexto da Educação Básica**. Revista Saberes Docentes, v. 5, n. 10, 2020.

DE LIMA, Letícia Dayane; BARBOSA, Zildete Carlos Lyra; PEIXOTO, Sandra Patrícia Lamenha. **Teoria humanista: Carl Rogers e a Educação**. Ciências Humana e Sociais. Alagoas. v.4, n.3, 2018.

DUARTE, Rosália. **Pesquisa qualitativa: reflexões sobre o trabalho de campo**. Cadernos de pesquisa, v.115, n.1, p. 139-54, 2002.

Eduarda Maria SCHNEIDER, E. M.; FUJII, R. A. X.; CORAZZA, M. J. **Pesquisas Quali-Quantitativas: Contribuições para a Pesquisa em Ensino de Ciências**. **Revista Pesquisa Qualitativa**. São Paulo (SP), v.5, n.9, p. 569-584, dez. 2017.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GARCIA, Luiz Cláudio; COSTA, Márcia da. **A inserção de Física Moderna no Ensino Médio por meio de práticas experimentais e aplicações na Astronomia**. In: CADERNOS, P. D. E. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE. Vol. I 2014.

GIACOMELLI, Alisson Cristian et al. Teoria da Relatividade: uma proposta didática para o ensino médio. 194 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental. **Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre. Vol. 23, n. 2 (ago. 2018), p. 352-382**, 2018.

LACERDA, Níliá Oliveira Santos. Educação CTS e autonomia: dimensões para a formação de professores de ciências. 220 fls. Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, 2019.

LINO, Alex; FUSINATO, Polônia Altoé. **A influência do conhecimento prévio no ensino de Física Moderna e Contemporânea**: um relato de mudança conceitual como processo de aprendizagem significativa. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 4, n. 3, 2011.

LIMA, Saulo Cordeiro. **Estudo da Técnica de difração dos raios X**. 95 fls. Monografia. Universidade Estadual Feira de Santana, 2006.

LIMA, Antonio Nelcione Carvalho. **Teoria semi-cinemática da difração de raios X moles em cristais**. 94 fls. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

MACÊDO, Josué Antunes de; DICKMAN, Adriana Gomes; ANDRADE, Isabela Silva Faleiro de. **Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, p. 562-613, 2012.

MANTOVANI, Sérgio Roberto. **Sequência didática como instrumento para a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) Universidade Estadual Paulista. 54 f. 2015.

MARTINHO, T.; POMBO, L. **Potencialidades das TICs no Ensino das Ciências Naturais**. Revista Electrônica de Enseñanza de las Ciencias. v.8, n.2, 2009

MATTAR, João; AGUIAR, Andrea Pisan Soares. **Metodologias ativas: Aprendizagem Baseada em Problemas, problematização e método do caso**. Brazilian Journal of Education, Technology and Society. v. 11, n. 3, p. 404-415, 2018.

MONTEIRO, Marco Aurélio Alvarenga. O uso de tecnologias móveis no ensino de física: uma avaliação de seu impacto sobre a aprendizagem dos alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 1, p. 1-15, 2016.

MOTTA, M. S.; KALINKE, M. A.; MOCROSKY, L. F. Mapeamento das dissertações que versam sobre o uso de tecnologias educacionais no ensino de Física. **Revista Actio, Curitiba**, v. 3, n. 3, p. 65-85, 2018.

MEDEIROS, Rogério Fachel de. SANTOS, Flávia Maria Teixeira dos. **Introdução à Física das radiações**. In: Textos de apoio ao professor de Física. Vol. 22 n. 5 Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2011.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barretto. **Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória**. Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. **Grandes desafios para o ensino da Física na Educação Contemporânea**. Revista do Professor de Física. vol 1. n.1. Brasília. 2017

MOREIRA, Marco Antonio. **Uma análise crítica do ensino de Física**. Estudos avançados, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem Significativa crítica (*critical meaningful learning*)**. Teoria da Aprendizagem Significativa. p. 47, 2000

MOREIRA, Marco Antonio; MASSON N.T. **A aprendizagem significativa crítica de Moreira**. In: Textos de apoio ao professor de Física. UFRGS. V.26, n.6.2015

NEVES, Natália Nascimento; DOS SANTOS, Adriana Ramos. O uso das tecnologias digitais da informação e comunicação para a experimentação no ensino de química: uma proposta usando sequências didáticas. Scientia Naturalis, v. 3, n. 1, 2021.

OLIVEIRA, Stefan Vilges de. **Metodologia ativa de ensino em bioestatística: uma experiência com a abordagem baseada na problematização**. Revista Brasileira de Educação e Saúde. v. 9, n. 2, p. 34-40, abr-jun, 2019.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. **Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de física**. Física na escola. São Paulo. vol. 14, n. 2, p. 4-13, 2016.

OLIVEIRA, Robson Lima; MIYAHARA, Ricardo Yoshimitsu. **Física Contemporânea: Propostas de trabalho aplicadas no ensino médio**. In: CADERNOS, P. D. E. Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE. vol. I 2014.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. **Física Moderna no Ensino médio: o que dizem os professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.29, n.3 p. 447-454. 2007

OZCAN, Ozgur; GERCEK, Cem. **Students' Mental Models of Light to Explain the Compton Effect**. Procedia-Social and Behavioral Sciences, v. 191, p. 2195-2197, 2015.

PAIVA, Eduardo de. **Sobre o espalhamento Compton inverso**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 3, p. 3303, 2014.

PEREIRA, António Maria Reis. **Estudo do impacto da descoberta dos raios-x e das suas aplicações médicas em Portugal**. 216 fls. Dissertação (Mestrado). Universidade de Lisboa, 2012.

PEREIRA, Eliana Alves; MARTINS, Jackeline Ribeiro; ALVES, Vilmar dos Santos e DELGADO, Evaldo Inácio. **A contribuição de John Dewey para a Educação**. Revista Eletrônica de Educação, v. 3, n. 1, p. 154-161, 2009.

PEZARINI, Agnaldo Ronie; MACIEL, Maria Delourdes. O ensino de Ciências pautado nos vieses CTS e das questões sociocientíficas para a construção da argumentação: um olhar para as pesquisas no contexto brasileiro. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 9, n. 5, p. 169-188, 2018.

PSZYBYLSKI, Rafael Felipe et al. **O uso do software de programação App inventor 2 na formação inicial de professores de ciências**. 121 fls. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

PSZYBYLSKI, Rafael Felipe; MOTTA, Marcelo Souza; KALINKE, Marco Aurélio. Uma revisão sistemática sobre as pesquisas realizadas em programas de mestrado profissional que versam sobre a utilização de smartphones no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 406-427, 2020.

RICHARTZ, Terezinha. Metodologia ativa: a importância da pesquisa na formação de professores. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 13, n. 1, p. 296-304, 2015.

ROGERS, Carl R. **Liberdade de aprender em nossa década**. Porto Alegre. Artes Médicas. 1985.

ROSA, Isabela Santos Correia; LANDIM, Myrna Friederichs. O enfoque CTSA no ensino de ecologia: concepções e práticas de professores do Ensino Médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 1, p. 263-289, 2018.

SÉ, Daniel de Sento. **Ensinando tópicos de natureza da ciência a partir de uma história do conceito de fóton no ensino médio**. Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Estadual de Feira de Santana. 79 f. 2016

SENA, Rosita Nascimento; FERNANDES, Elielma Santana. **Meio Ambiente e Sociedade: reflexões através do Projeto Margaritas do Baixo Sul**. In: Educação, meio ambiente e comunidade: experiências do IF Baiano. Joana Fidelis da Paixão (organizadora). Salvador: EDUFBA, 2018.

SEBOLD, L. F. *et al.* **Metodologias ativas:** uma inovação na disciplina de fundamentos para o cuidado profissional de enfermagem. *Cogitare Enferm.* v. 15, n. 4, p.753-56, 2010.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** São Paulo: Cortez, 2007.

SILVA, Indianara Lima; JUNIOR, Olival Freire. **A descoberta do efeito Compton:** De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. *Revista Brasileira de Física.* Vol.36. n.1,1601. 2014

SILVA, Indianara Lima; JUNIOR, Olival Freire e SILVA, Ana Paula Bispo da. **A imagem pública de Arthur Holly Compton:** um físico quântico ou clássico? In: *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais.* Org. Olival Freire Junior, Osvaldo Pessoa Junior, Joan Lisa Bromberg. Campinas Grande: EDUEPB. 2011.

SILVA, Indianara Lima; JUNIOR, Olival Freire; SILVA, Ana Paula Bispo da. **O modelo do grande elétron:** o *background* clássico do efeito Compton. *Revista Brasileira de Ensino de Física,* v. 33, n. 4, 4601. 2011

SOARES, Antonio Augusto; MEDINA, Renato Rodrigues; CARBONI, Ariovaldo; COSTA, Farley William. Usando as tecnologias da informação no ensino de Física: o blog da lua. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física,* v. 33, n. 3, p. 1094-1114, 2016.

SOARES, Lucas de Vasconcelos; COLARES, Maria Lília Imbiriba Sousa. **Educação e tecnologias em tempos de pandemia no Brasil.** *Debates em Educação,* v. 12, n. 28, p. 19-41, 2020.

SOUSA, Luana Mendes. **Análise da eficácia do uso de simuladores computacionais no ensino de Óptica.** Monografia 33f. Graduação em Licenciatura em Física. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2011.

SOUZA, Adão José de; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. A produção de raios X contextualizada por meio do enfoque CTS: um caminho para introduzir tópicos de FMC no ensino médio. *Educar em Revista,* n. 37, p. 191-209, 2010.

SCHWAN, Guilherme; DOS SANTOS, Rosemar Ayres. Dimensionamentos curriculares de enfoque CTS no ensino de ciências na educação básica. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC),* v. 6, p. e098120-e098120, 2020.

STUDART, Nelson. **Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas.** *Revista do Professor de Física.* v.3, n.3, p. 1-24, Brasília, 2019.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2<sup>o</sup> grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física,* Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209- 214, dez. 1992.

VALENTE, José Armando. **Blended learning e as mudanças no ensino superior:** a proposta da sala de aula invertida. *Educar em revista,* n. 4, p. 79-97, 2014.

VIEIRA, L. P.; LARA, V. O. M.; AMARAL, D. F. Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, 2014.

WEBER, Lídia Catarina. **Metodologias ativas no processo de ensino da enfermagem: revisão integrativa**. Dissertação de Mestrado em Ensino. Universidade do Vale do Taquari. 83 fls. 2018.

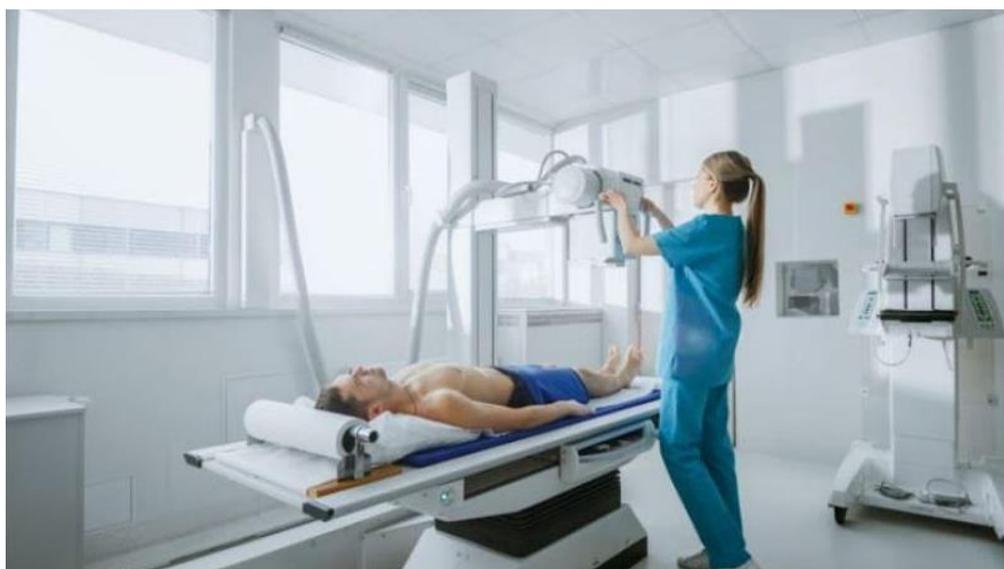
ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Trad. Ernani F. da Rosa – Porto Alegre: ArtMed, 1998.

## 7 APÊNDICES

### Apêndice A – Questionário Prévio

# Questionário Investigativo

1) Para verificar doenças, determinar se houve ou não uma lesão após uma queda, é comum que o paciente seja encaminhado para a realização do raio-X. Quais são os fenômenos físicos relacionados a esse exame?



---

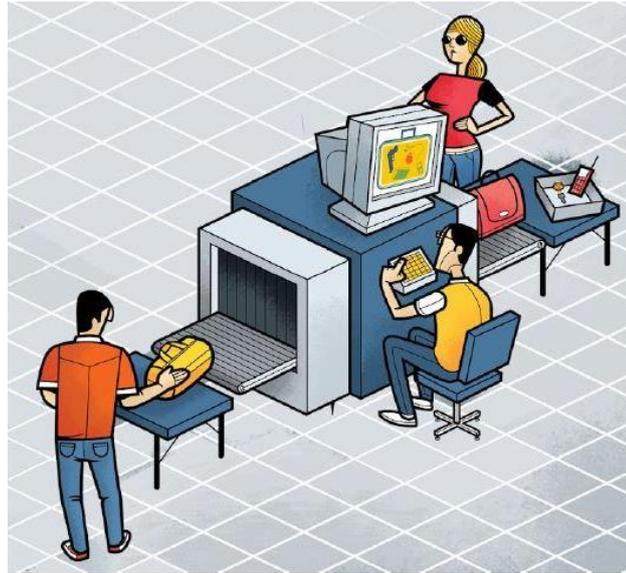
---

---

---

---

2) Quando estamos nos preparando para viajar de avião, uma das ações obrigatórias é que nossa bagagem de mão passe pelo raio-X a fim de verificação. Observando os seus conhecimentos prévios, me diga como você acha que acontece a detecção dos objetos dentro da máquina de raio-X?




---



---



---

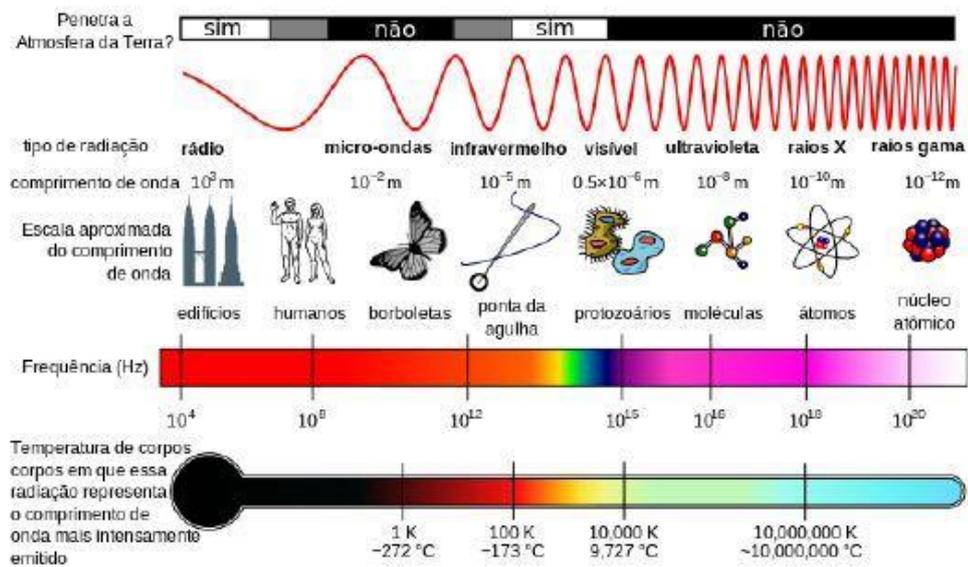


---



---

3) O espectro eletromagnético é bastante estudado na área da Física, pois nele estão contidas ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de onda e frequência. Na sua opinião, por que é importante conhecer as características das ondas eletromagnéticas?



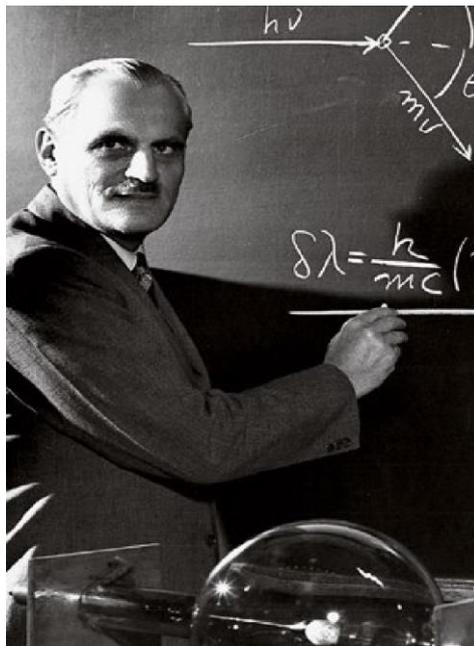
---

---

---

---

4) Um cientista chamado Arthur Holly Compton descobriu um efeito Físico chamado de Efeito Compton. Você sabe me explicar como ocorre esse efeito?

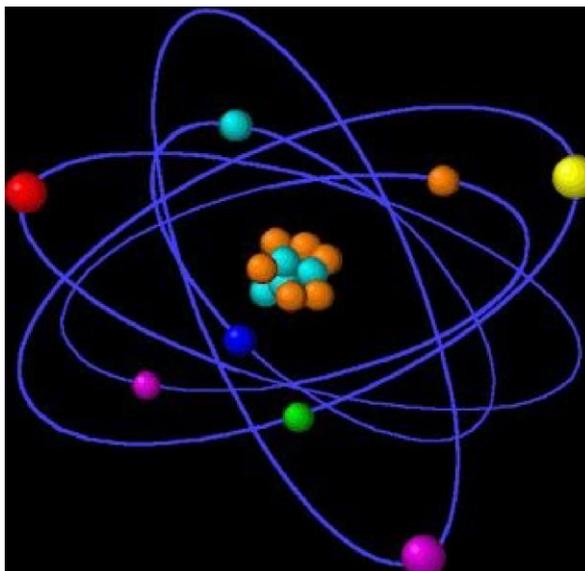


---

---

---

5) Com base nos seus conhecimentos sobre átomos, me diga como um átomo é estruturado?



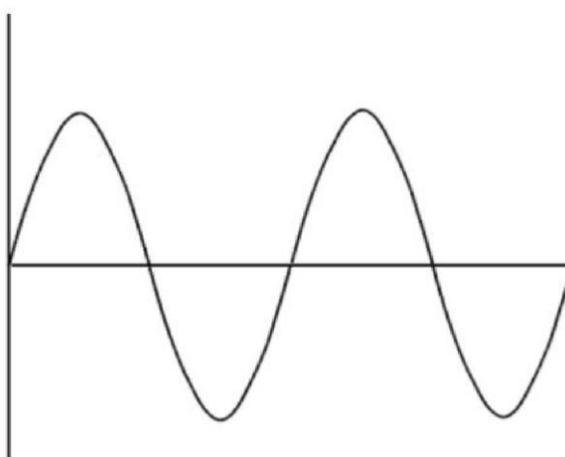
---

---

---

---

6) Ondas eletromagnéticas são oscilações formadas por campos elétricos e magnéticos variáveis, que se propagam tanto no vácuo quanto em meios materiais. Abaixo, temos uma imagem representando uma onda. Me explique resumidamente algumas características dessa onda que são perceptíveis através da imagem.



---

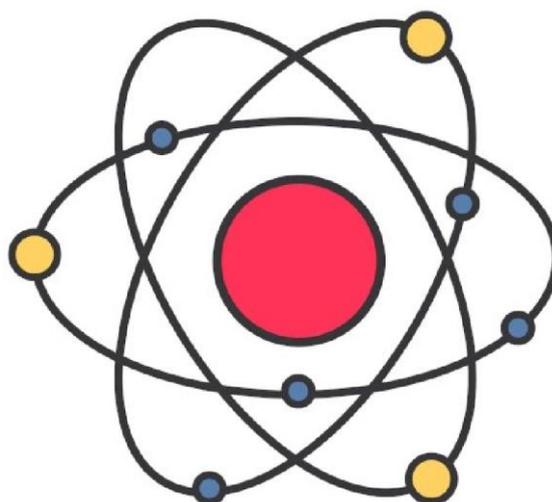
---

---

---

7) Átomo é uma partícula microscópica que é base da formação de toda e qualquer substância. Com base nos seus conhecimentos, o que você sabe sobre os elementos que compõem um átomo?

## Átomo



---

---

---

---

8) Uma mina terrestre é um artefato explosivo utilizado com a finalidade de evitar ou dificultar o avanço de forças de infantaria ou de carros de combate em campo de batalha. O processo de remoção de minas é muito lento, e necessita paciência. Na sua opinião, qual o efeito físico que ocorre na detecção dessas minas?



---

---

---

---

9) Na física, um fóton é uma partícula que possui energia eletromagnética. É a unidade básica que compõe toda a luz. O fóton é às vezes chamado de “quantum” de energia eletromagnética. Me diga, se souber, algumas características do fóton.



---

---

---

10) A luz apresenta uma dualidade onda- partícula. O que você entende sobre essa dualidade?



---

---

---

## Apêndice B – Atividade com Auxílio do Aplicativo *InterCompton*.

**Objetivo:** Entender a interação da radiação com as partículas na atmosfera e laboratório.

**1º Passo:** Abra o aplicativo **InterCompton**, clique na opção: **Iniciar** e acesse o painel do simulador conforme as figuras abaixo:

FIGURA 01- Interface inicial do aplicativo

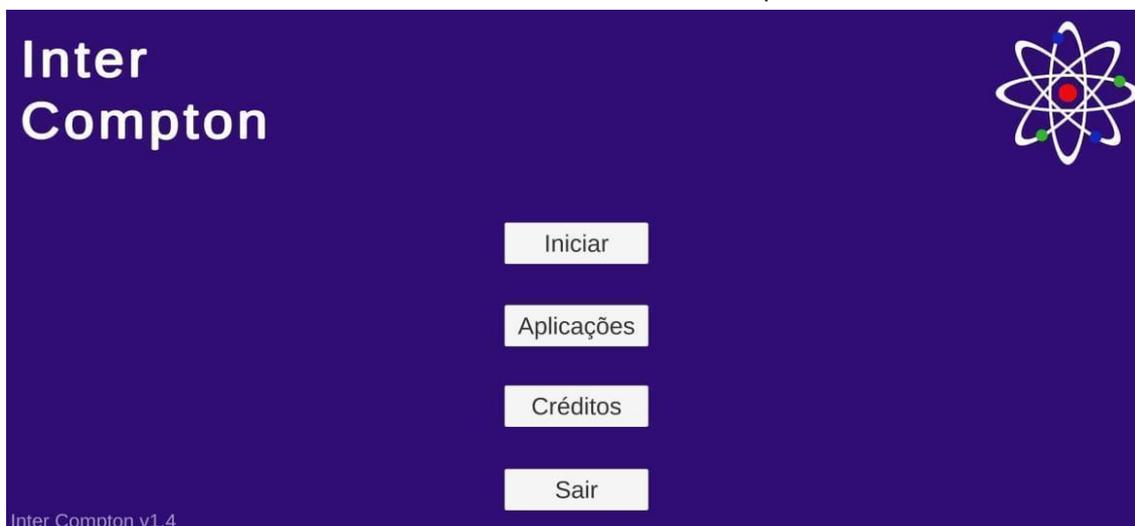


FIGURA 02- Interface do simulador



**DICA:** A opção de cores do espectro visível de luz aparecerá, quando você clicar na seta ao lado do nome **UltraVioleta**.

**2º Passo:** Inicie a simulação colocando os parâmetros iniciais abaixo:

- No menu de opções do espectro de luz, escolha qualquer um dos comprimentos de onda disponíveis. Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Selecione uma massa do material que irá interagir com a radiação, clicando na seta ao lado da palavra **Próton**. Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Escolha um ângulo para o fóton ser espalhado, clicando na seta ao lado de 180°. Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Clique em **Iniciar Simulação**.
- Observe o ocorrido.

**3º Passo:** Clique em **Reiniciar**. Selecione outra cor do espectro da luz visível e observe:

1) Ao interagir a radiação sobre o material nas condições impostas, o que foi observado? Houve alguma alteração em relação à simulação do 2º passo?

2) Encontre a variação da energia cinética transferida ao material nas duas simulações que você realizou. O que você pode dizer sobre os valores encontrados?

**4º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

O chumbo é, geralmente, um material muito utilizado na *proteção radiológica*. Isso se deve ao fato dele possuir um bom fator de blindagem contra os efeitos dos raios gama e raios X, prejudiciais à saúde humana, o que o torna um excelente material à radioproteção.

No simulador **InterCompton**, é possível observar algumas radiações do espectro de onda eletromagnéticas interagindo com um átomo de chumbo. Entretanto, nesta atividade, será escolhida uma frequência que será relacionada com os ângulos disponíveis no aplicativo.

- Selecione a maior frequência do espectro de onda eletromagnética disponível no simulador para interagir com o material.
- Selecione a massa do chumbo.
- Selecione o ângulo de espalhamento 45°.

Observe e anote os valores referentes à Energia inicial e final da radiação, o ângulo de espalhamento do elétron e da radiação, e a variação do comprimento de onda.

**5º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

Agora, faça o mesmo para os outros ângulos disponíveis no aplicativo. Após o término, relate as diferenças notadas nos parâmetros em cada ângulo e explique, de acordo com os seus conhecimentos, o porquê ela ocorre.

**6º Passo:** Nos últimos anos, tem crescido o número de trabalhos relativos ao uso de nanopartículas de ouro como radiosensibilizadores, que potencializam os efeitos das radiações ionizantes em células cancerígenas. O objetivo é carregar os tumores com

as nanopartículas de ouro, levando a uma dose de radiação mais elevada para o tecido canceroso em comparação à dose recebida pelo tecido normal, melhorando desta forma os resultados da radioterapia.

No simulador **InterCompton** é possível observar algumas radiações do espectro de onda eletromagnéticas interagindo com um átomo de ouro. Entretanto, nesta atividade, será escolhida apenas uma frequência que será relacionada com os ângulos disponíveis no aplicativo.

- Selecione a maior frequência do espectro de onda eletromagnética disponível no simulador para interagir com o material.
- Selecione a massa do ouro.
- Selecione o ângulo de espalhamento  $45^\circ$ .

Observe e anote os valores referentes à Energia inicial e final da radiação, o ângulo de espalhamento do elétron e da radiação e a variação do comprimento de onda.

**7º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

Agora, faça o mesmo para os outros ângulos disponíveis no aplicativo. Após o término, relate as diferenças notadas nos parâmetros em cada ângulo e explique de acordo com os seus conhecimentos, o porquê ela ocorre.

**8º Passo:** De acordo com as simulações, que foram realizadas nos passos  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $6^\circ$  e  $7^\circ$ , discorra sobre as diferenças de valores encontrados nos parâmetros relacionando os dois materiais: chumbo e ouro.

**9º Passo:** Faça uma simulação para cada massa disponível, escolhendo os outros parâmetros como o usuário quiser. Observe o que acontece e após o término de cada simulação, responda:

1) De acordo com a escolha da massa do material que sofrerá a colisão, houve alguma modificação perceptível no tamanho da partícula? Como você explicaria essa modificação ou a falta dela?

**10º Passo:** Escolha uma massa, uma onda eletromagnética, o ângulo de espalhamento em  $180^\circ$  e observe a simulação.

Faça o mesmo procedimento escolhendo a massa de um elétron, e, variando todas as ondas eletromagnéticas disponíveis no simulador, para os ângulos de  $0^\circ$  e  $180^\circ$ . Posteriormente, discorra o que aconteceu com o fóton e com o elétron nessas situações levando em consideração as informações fornecidas durante a simulação e explique com base nos seus conhecimentos, o porquê de tal fato ocorrer.

## Apêndice C – Questionário de Autoavaliação dos Momentos de Aprendizagem

*Para melhor analisarmos esse momento de aprendizagem, queremos saber algumas informações importantes para esta pesquisa. Agradecemos a sua disponibilidade e contribuição para este trabalho científico.*

1. Qual a sua idade?

- a) 15 a 16 anos;
- b) 17 a 18 anos;
- c) 19 a 20 anos;
- d) 21 a 22 anos.

2. Na escola, você já havia tido contato com algum tópico da Física Moderna?

- a) sim;
- b) não.

3. Em relação à aprendizagem do Efeito Compton, o que você achou da metodologia utilizada nesses momentos de aprendizagem?

- a) não contribuiu em nada para minha aprendizagem;
- b) contribuiu parcialmente para a minha aprendizagem;
- c) contribuiu muito para a minha aprendizagem.

4. O que você pensa sobre as aulas expositivas tradicionais para iniciar o novo conteúdo de Física?

- a) gosto somente de aulas expositivas para iniciar um assunto;
- b) gosto de algo novo que me motive a pesquisar e aprofundar o assunto.

5. O que você pensa sobre o ensino remoto para as aulas de Física?

- a) não há aprendizado;
- b) é possível aprender alguns assuntos;
- c) é possível aprender todos os assuntos desde que seja com uma metodologia que alcance e desperte a curiosidade dos alunos.

6. O que mais motivou-te durante as aulas de Física?

- a) não me senti motivado;
- b) o uso de imagens e de recursos audiovisuais;
- c) o uso da tecnologia móvel aliado à performance do professor.

7. Como você avalia a maneira como o Efeito Compton foi trabalhado no ensino remoto?

- a) Excelente;
- b) Bom;
- c) Regular;
- d) Ruim.

8. Você consegue estabelecer alguma relação entre o que você aprendeu sobre Efeito Compton e a sua prática diária?

---

---

---

---

9. Sobre o Efeito Compton, relate, brevemente, o que você mais gostou de aprender sobre ele.

---

---

---

---

10. De maneira resumida, você teria algo a sugerir para o melhoramento das aulas remotas sobre Efeito Compton? Ou acredita que os resultados foram satisfatoriamente positivos?

---

---

---

---

## Apêndice D – Produto Educacional



### SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE EFEITO COMPTON FAZENDO USO DO APLICATIVO *INTERCOMPTON*

**DANIELE SOCORRO RIBEIRO DA SILVA**

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Mateus Gomes Lima  
Coorientador: Rodrigo do Monte Gester

## 1 APRESENTAÇÃO

Caro Professor/Leitor,

Nesse trabalho, apresentamos um Produto Educacional (PE) resultante de uma investigação de Mestrado Profissional em Ensino de Física, ofertado pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA). O referido produto consiste em uma Sequência Didática (SD) elaborada a partir das colaborações teórico-práticas dos estudos especializados na área, bem como das discussões a partir das Metodologias Ativas (MA). De maneira especial, focamos aqui as pesquisas que versam sobre o ensino de Física no contexto da educação remota, alternativa adotada pelo sistema educacional no contexto da pandemia do COVID-19. Entendemos também que tais pesquisas agregam em si perspectivas ativas de ensino acerca da Física enquanto componente curricular.

Essa SD foi construída com o objetivo de apresentar medidas catalisadoras ao ensino de Física Moderna no âmbito do ensino médio da educação básica, a partir das singularidades do contexto da educação remota. Instala-se, nesse sentido, o foco voltado ao Efeito Compton, com vistas a proporcionar bons ganhos no que compete ao ensino e à aprendizagem do referido assunto.

Reitero que a elaboração desse produto obedeceu às orientações da Abordagem de Ensino, Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), de maneira a considerar a importância didático-pedagógica da tecnologia móvel no percurso adotado pela modalidade remota de ensino, muito importante no período pandêmico. Nesse sentido, justifico a recorrência ao uso do Simulador *InterCompton*, o qual lança mão de recursos visuais para simular situações-problemas reais, as quais envolvem o Efeito Compton.

Em suma, espero que esta SD possa colaborar positivamente com a prática pedagógica do professor de Física, partindo do princípio de que se trata de um componente curricular repleto de especificidades em seu ensino, o que nos faz pensá-lo sob um prisma que nos exige atenção constante.

Boa leitura a todos!

A autora

## 1.1 PRÁTICAS PEDAGÓGICAS E MATERIAIS UTILIZADOS

Contempla-se, nesta SD, as seguintes práticas pedagógicas:

- a) A produção de vídeos;
- b) O uso de tecnologias educacionais e o acesso remoto;
- c) A recorrência à Sala de Aula Invertida, enquanto prática ativa, capaz de viabilizar os processos de ensino e aprendizagem, ao considerar o aluno como protagonista desta iniciativa.

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

- Livros para uma pesquisa bibliográfica;
- *Smartphones* com internet;
- *Programa Computacionais (softwares)* para gravação e edição de vídeos;
- Programa Computacional (aplicativo para *smartphone*): *InterCompton*.

## 1.2 ELABORAÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Na elaboração desta proposta didática, baseada na SD como produto educacional, buscou-se relacionar as atividades às reais necessidades dos educandos, ao levar em consideração as concepções prévias dos alunos e as condições para que ocorresse a aprendizagem. O conteúdo do Efeito Compton se encontra dentro do tema central “Física Moderna e Contemporânea”, trabalhado com alunos da 3ª série do Ensino Médio.

As atividades presentes na SD são ordenadas de maneira a aprofundar o tema, o qual está sendo estudado. As metodologias são: pesquisas, leituras, gravação de vídeos, uso de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) e aulas dialogadas por meio do *Google Meet*, gravadas e disponibilizadas para os estudantes assistirem. Tais perspectivas metodológicas foram aplicadas conforme as orientações da Sala de Aula Invertida, enquanto prática pedagógica ativa, a qual foi construída a partir do mapeamento das principais dificuldades dos alunos, sujeitos de pesquisa. Desta forma, cabe ao professor ser o interlocutor e mediador das atividades

propostas. Para facilitar, detalhar e deixar mais clara a organização desta SD, apresenta-se a estrutura das aulas.

### 1.3 ESTRUTURA DAS AULAS

Nessa seção, apresenta-se o quadro 1.1, no qual consta de uma sugestão para a estrutura e conteúdo das aulas a serem desenvolvidas, bem como os dados relacionados a estas aplicações.

**Quadro 1.1** – Estrutura e conteúdo a ser ministrado

<b><u>IDENTIFICAÇÃO</u></b>
Instituição: Disciplina: Professor (a): Turma:
<b>AULA 1</b>
<p>Para a realização da primeira aula que consiste em 4 atividades na qual professor e aluno estarão diretamente envolvidos, é importante levar em consideração alguns fatores como a internet, um lugar apropriado para estudo, por exemplo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Atividade 1-</b> Acolhimento dos estudantes              O professor acolhe os estudantes dando-lhes boas-vindas, em seguida, faz uma explicação clara a respeito da sequência didática que será aplicada na turma e discorre sobre o porquê desses momentos de encontro virtuais. Explana sobre a Sequência Didática de maneira que o estudante possa entender os três momentos que nela está proposta.</li> <li>• <b>Atividade 2-</b> Proposta de Gravação de vídeos              Propõe-se aos estudantes que realizem pesquisas sobre Efeito Compton, envolvendo seu conceito teórico e matemático, assim como a sua aplicabilidade na sociedade e elaborem um vídeo curto (3 a 5 minutos) que contenha informações físicas, e do seu cotidiano mostrando onde esse efeito é utilizado na sociedade.</li> <li>• <b>Atividade 3-</b> Disponibilizar artigos e vídeos para dar suporte à essa atividade.              Diante disso, sugere-se os seguintes vídeos e arquivos em PDF: a) Efeito Compton, disponível em <a href="https://youtu.be/zb3qrTZ9PAM">https://youtu.be/zb3qrTZ9PAM</a>; b) Física - Efeito Compton, Efeito Fotoelétrico e Produção de Pares, disponível em <a href="https://youtu.be/b-c7cWYVfsk">https://youtu.be/b-c7cWYVfsk</a>; c) Efeito Compton, disponível em <a href="https://youtu.be/HRp1z7biT_s">https://youtu.be/HRp1z7biT_s</a>; d) Leituras de Física - O Efeito Compton, disponível em <a href="https://youtu.be/JKdMIDYefKE">https://youtu.be/JKdMIDYefKE</a>; e) O Uso do Efeito Compton nos Diagnósticos por Imagem, PDF de Pereira et al, disponível em</li> </ul>

[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/1235\\_1393\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/1235_1393_01.pdf) e outros materiais que o professor achar necessário.

- **Atividade 4-** Investigando o conhecimento prévio do aluno.

Solicita-se aos estudantes que preencham um questionário *online* (disponível no *Google Forms*) sobre assuntos do cotidiano para serem trabalhados em sala de aula, como raio X, átomo e conceitos básicos de ondas. Esse questionário é aberto para que os alunos possam expressar, de maneira espontânea, o seu conhecimento prévio a respeito de cada situação a ele exposta (Modelo no Apêndice A). Após o preenchimento do questionário prévio, inicia-se um breve diálogo sobre Física Moderna. Nessa conversa, o professor questionará os estudantes com base no resultado do questionário prévio, ao explicar, de maneira clara e coerente, cada assunto abordado no questionário, já que são conceitos importantes ao estudo do Efeito Compton.

## AULA 2

Discussão sobre o tema, bem como sobre os vídeos gravados pelos alunos.

- **Atividade 1-** Momento para observar o nível do conhecimento dos alunos sobre o tema e sua relevância à sociedade. Fazer alguns questionamentos como:
  - ✓ De acordo com a pesquisa que vocês realizaram, foi possível observar onde o Efeito Compton se faz presente na sociedade?
  - ✓ Foi importante conhecer um pouco os aspectos históricos que envolveram o descobrimento do Efeito Compton?
  - ✓ A metodologia de gravação dos vídeos os estimulou para um estudo mais avançado do tema?
- **Atividade 2** – Após o momento de diálogo com os alunos, apresentar o aplicativo *InterCompton*<sup>9</sup> aos mesmos. Pedir que cada um baixe o aplicativo do *Play store*. Instruir os estudantes sobre o modo de usar o aplicativo, conforme roteiro em 1.4. Entrega do exercício a ser realizado com o *InterCompton*.

---

<sup>9</sup> O simulador *InterCompton* está disponível na loja de aplicativos *Google Play Store*.

### AULA 3

Discussão sobre o aplicativo *InterCompton* e questionário de avaliação de Aprendizagem.

- **Atividade 4** - Os alunos serão instigados pelo professor a se manifestar quanto às dificuldades encontradas durante a utilização do aplicativo: se a atividade foi produtiva, isso significa que os enunciados do exercício são de fácil compreensão e se foi possível ter uma noção por meio do simulador de como o efeito estudado acontece. Alguns questionamentos que podem ser feitos são:
  - ✓ O uso da simulação ajudou você a compreender melhor o conteúdo?
  - ✓ Você apresentou dificuldades em manipular o *software*?
  - ✓ Para você, a interface gráfica (Janela, botões e animações) é considerada atraente para sua utilização?
  - ✓ Durante a utilização do *software*, foi notado travamentos, lentidão, comandos “defeituosos”?
  
- **Atividade 5** – Os alunos receberão o *link* de um questionário avaliativo sobre o momento de aprendizagem que lhes foi proporcionado, a fim de verificar se a SD foi realizada satisfatoriamente, despertando-lhes o interesse sobre a Física Moderna, em especial, sobre o Efeito Compton.

#### 1.4 ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO DO APLICATIVO SIMULADOR *INTERCOMPTON*

Este é o roteiro para utilizar o aplicativo *InterCompton* por meio do *smartphone*. O modelo disponível foi produzido no programa de *software Unit 3D* que é gratuito e foi produzido com fins educacionais.

##### 1.4.1 Telas Constituintes do Aplicativo *InterCompton*

As telas constituintes do simulador se apresentam na horizontal, com o objetivo de facilitar a sua visualização. Na primeira tela, representada na Figura 1, encontra-se o menu do simulador dando ao usuário opções como iniciar, ir para aplicações, créditos e sair do aplicativo.

**Figura 1** – Tela inicial do simulador

Fonte: Aplicativo *InterCompton* (2021)

A Figura 1 confere ao usuário a oportunidade de conhecer um pouco mais sobre a aplicação do Efeito Compton na sociedade, ao mostrar que, apesar de não ser muito divulgado, está presente em diversas situações reais dos estudantes, seja por ter presenciado tal ação ou por ter visto na televisão, por exemplo.

A Figura 2 mostra algumas opções de onde podemos observar o Efeito Compton na sociedade.

**Figura 2** – Algumas aplicações do Efeito Compton na sociedade

Fonte: Aplicativo *InterCompton* (2021)

A Figura 2 tem como objetivo mostrar ao usuário alguns exemplos nos quais o Efeito Compton está presente. Cada opção traz uma informação sobre sua utilização. Assim, o estudante poderá observar que esse fenômeno físico acontece

dentro de equipamentos importantes para a eficácia do trabalho e sobrevivência humana.

Na Figura 3, observa-se os parâmetros de comprimento de onda inicial, massa e ângulo. Estes parâmetros contêm alguns valores, o que possibilita a escolha aleatória do usuário.

**Figura 3** – Interface dos parâmetros.

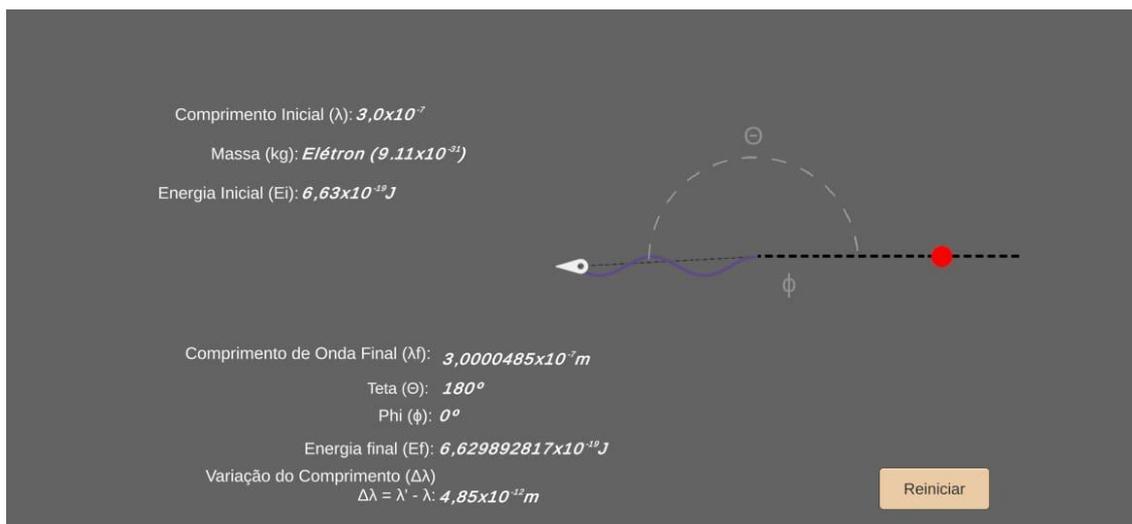


Fonte: Aplicativo *InterCompton* (2021)

Na Figura 3, o usuário poderá escolher os valores dos parâmetros para realizar a simulação. Os valores escolhidos para o parâmetro do comprimento de ondas, que vai desde a radiação ultravioleta até a infravermelho, foram retirados do livro de Eletromagnetismo volume 3, com autoria de Machado (2013). Esses valores têm metros (m) como unidades de medida. Para ser direcionado à tela inicial do simulador (Figura 1), basta clicar na tecla **sair**.

Na Figura 4, encontra-se a interface onde ocorre a simulação. Nela é possível a percepção da representação do efeito, de acordo com a escolha dos parâmetros.

**Figura 4 – Interface da simulação**

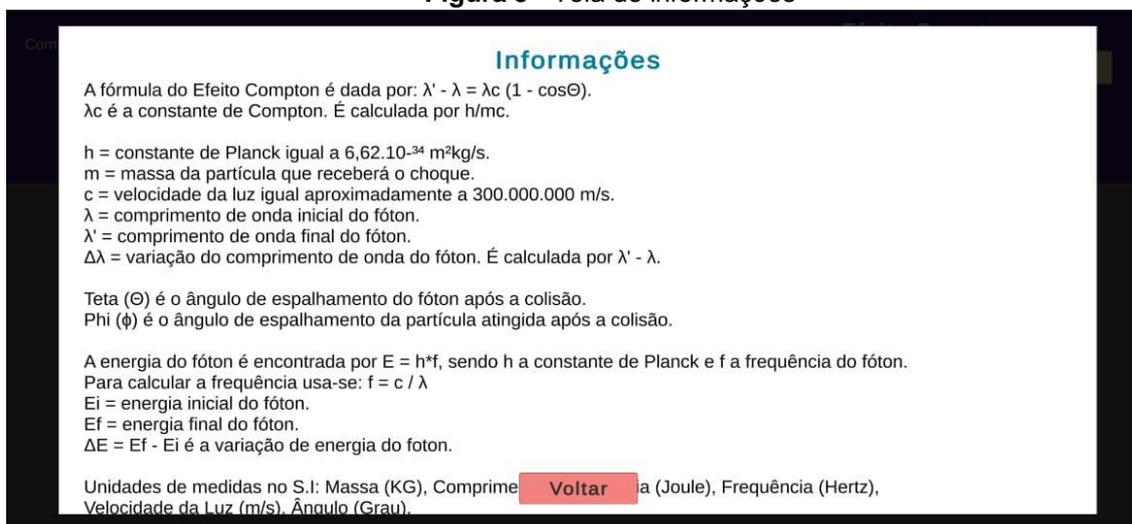


Fonte: Aplicativo *InterCompton* (2021)

Na Figura 4, observa-se os dados obtidos por meio da simulação do movimento entre radiação e matéria. Nessa interface, obtemos valores além dos escolhidos na interface dos parâmetros, como o comprimento de onda final ( $\lambda'$ ), a variação entre o comprimento de onda inicial e o final ( $\Delta\lambda$ ), a energia inicial ( $E_i$ ) e energia final da radiação ( $E_f$ ), o  $phi$  ( $\phi$ ) que é o ângulo de espalhamento da matéria. Após a simulação, é preciso clicar em **reiniciar** para voltar a tela dos parâmetros. Para cada escolha de massa, se apresenta uma partícula com tamanhos ilustrativos referentes aos valores de cada partícula.

Na Figura 5, observa-se a tela que contém informações básicas como unidades de medidas e alguns conceitos.

**Figura 5 - Tela de informações**



Fonte: Aplicativo *InterCompton* (2021)

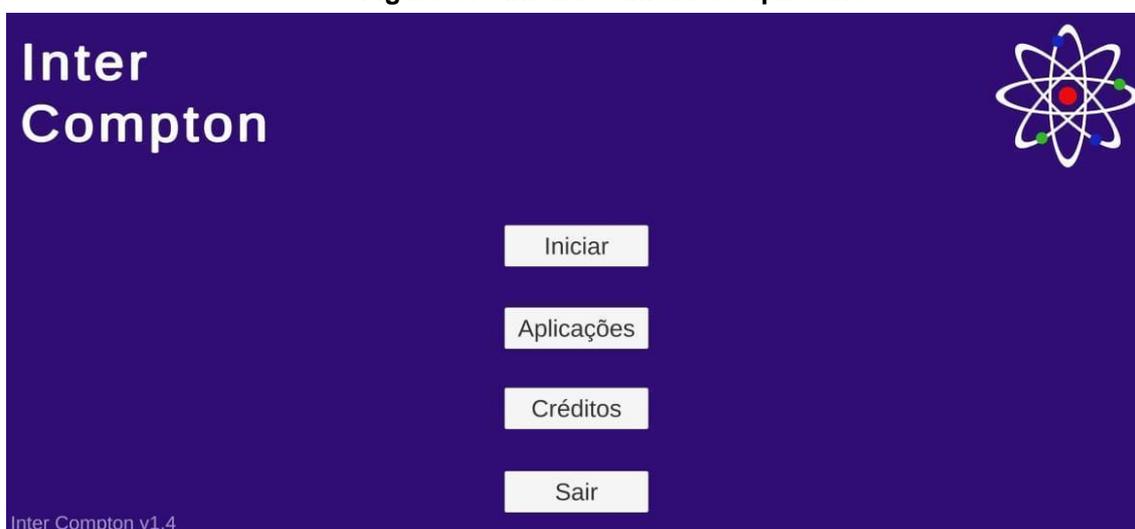
A Figura 5 traz algumas informações como definições e fórmulas de alguns parâmetros utilizados no simulador. Quando o usuário tiver alguma dúvida sobre como encontrar algum valor, ou sobre o nome de alguma variável ou constante, basta clicar em **informações** que ele terá acesso a essa página. Para sair, clique em **voltar** e retornará para a interface dos parâmetros (Figura 3).

**Atividade para ser realizada com o auxílio do aplicativo *InterCompton*.**

**Objetivo:** Entender a interação da radiação com as partículas na atmosfera e laboratório.

**1º Passo:** Abra o aplicativo **InterCompton**, clique na opção: **Iniciar** e acesse o painel do simulador conforme as figuras abaixo:

**Figura 01 - Interface inicial do aplicativo**



**Figura 02 - Interface do simulador**



**DICA:** A opção de cores do espectro visível de luz aparecerá, quando você clicar na seta ao lado do nome **UltraVioleta**.

**2º Passo:** Inicie a simulação colocando os parâmetros iniciais abaixo:

- No menu de opções do espectro de luz, escolha qualquer um dos comprimentos de onda disponíveis. Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Selecione uma massa do material que irá interagir com a radiação, clicando na seta ao lado da palavra **Próton**. Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Escolha um ângulo para o fóton ser espalhado, clicando na seta ao lado de  $180^\circ$ . Anote aqui \_\_\_\_\_.
- Clique em **Iniciar Simulação**.
- Observe o ocorrido.

**3º Passo:** Clique em **Reiniciar**. Selecione outra cor do espectro da luz visível e observe:

1) Ao interagir a radiação sobre o material nas condições impostas, o que foi observado? Houve alguma alteração em relação à simulação do 2º passo?

2) Encontre a variação da energia cinética transferida ao material nas duas simulações que você realizou. O que você pode dizer sobre os valores encontrados?

**4º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

O chumbo é, geralmente, um material muito utilizado na *proteção radiológica*. Isso se deve ao fato dele possuir um bom fator de blindagem contra os efeitos dos raios gama e raios X, prejudiciais à saúde humana, o que o torna um excelente material à radioproteção.

No simulador **InterCompton**, é possível observar algumas radiações do espectro de onda eletromagnéticas interagindo com um átomo de chumbo. Entretanto, nesta atividade, será escolhida uma frequência que será relacionada com os ângulos disponíveis no aplicativo.

- Selecione a maior frequência do espectro de onda eletromagnética disponível no simulador para interagir com o material.
- Selecione a massa do chumbo.
- Selecione o ângulo de espalhamento  $45^\circ$ .

Observe e anote os valores referentes à Energia inicial e final da radiação, o ângulo de espalhamento do elétron e da radiação, e a variação do comprimento de onda.

**5º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

Agora, faça o mesmo para os outros ângulos disponíveis no aplicativo. Após o término, relate as diferenças notadas nos parâmetros em cada ângulo e explique, de acordo com os seus conhecimentos, o porquê ela ocorre.

**6º Passo:** Nos últimos anos, tem crescido o número de trabalhos relativos ao uso de nanopartículas de ouro como radiosensibilizadores, que potencializam os efeitos das

radiações ionizantes em células cancerígenas. O objetivo é carregar os tumores com as nanopartículas de ouro, levando a uma dose de radiação mais elevada para o tecido canceroso em comparação à dose recebida pelo tecido normal, melhorando desta forma os resultados da radioterapia.

No simulador **InterCompton**, é possível observar algumas radiações do espectro de onda eletromagnéticas interagindo com um átomo de ouro. Entretanto, nesta atividade, será escolhida uma frequência que será relacionada com os ângulos disponíveis no aplicativo.

- Selecione a maior frequência do espectro de onda eletromagnética disponível no simulador para interagir com o material.
- Selecione a massa do ouro.
- Selecione o ângulo de espalhamento  $45^\circ$ .

Observe e anote os valores referentes à Energia inicial e final da radiação, o ângulo de espalhamento do elétron e da radiação, e a variação do comprimento de onda.

**7º Passo:** Clique em **Reiniciar**.

Agora, faça o mesmo para os outros ângulos disponíveis no aplicativo. Após o término, relate as diferenças notadas nos parâmetros em cada ângulo e explique de acordo com os seus conhecimentos, o porquê ela ocorre.

**8º Passo:** De acordo com as simulações, que foram realizadas nos passos  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $6^\circ$  e  $7^\circ$ , discorra sobre as diferenças de valores encontrados nos parâmetros relacionando os dois materiais: chumbo e ouro.

**9º Passo:** Faça uma simulação para cada massa disponível, escolhendo os outros parâmetros como o usuário quiser. Observe o que acontece e após o término de cada simulação, responda:

1) De acordo com a escolha da massa do material que sofrerá a colisão, houve alguma modificação perceptível no tamanho da partícula? Como você explicaria essa modificação ou a falta dela?

**10º Passo:** Escolha uma massa, uma onda eletromagnética, o ângulo de espalhamento em  $180^\circ$  e observe a simulação.

Faça o mesmo procedimento escolhendo a massa de um elétron, e, variando todas as ondas eletromagnéticas disponíveis no simulador, para os ângulos de  $0^\circ$  e  $180^\circ$ . Posteriormente, discorra o que aconteceu com o fóton e com o elétron nessas situações levando em consideração as informações fornecidas durante a simulação e explique com base nos seus conhecimentos, o porquê de tal fato ocorrer.

## REFERÊNCIAS

MACHADO, Kleber Daum. **Eletromagnetismo**. Ponta Grossa. Todapalavra, 2013.

SILVA, Ana Claudia Machado. **Espalhamento Compton**. You Tube.2019.  
Disponível em: <https://youtu.be/zb3qrTZ9PAM> . Acesso em: 10/12/2020.

Leituras de Física – O Efeito Compton. You Tube. 2018. Disponível em  
<https://www.youtube.com/watch?v=JKdMIDYefKE> . Acessado em: 12/12/2020.

BEZERRA, Nelson; Física - **16.2 - Efeito Compton, efeito fotoelétrico e produção de pares**. You Tube. 2018. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=b-c7cWYVfsk> . Acessado em 10/01/2021.

SOUZA, Cicero Jailton de Moraes. **Efeito Compton**. You Tube.2020. Disponível em  
[https://www.youtube.com/watch?v=HRp1z7biT\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=HRp1z7biT_s) . Acessado em 15/01/2021.