



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

SAMY SOUZA SILVA FERNANDES

**USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E OBJETOS  
DIGITAIS DE APRENDIZAGEM NA  
CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE  
FENÔMENOS NUCLEARES**

Marabá, PA

2021

SAMY SOUZA SILVA FERNANDES

**USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E OBJETOS DIGITAIS  
DE APRENDIZAGEM NA CONSTRUÇÃO DE  
CONHECIMENTOS SOBRE FENÔMENOS NUCLEARES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito obrigatório para a obtenção da licenciatura plena em Física.

Orientador Prof. Dr. Mateus Gomes Lima

Marabá, PA

2021

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

---

F48u      Fernandes, Samy Souza Silva  
            Uso de metodologias ativas e objetos digitais de aprendizagem na  
            construção de conhecimentos sobre fenômenos nucleares / Samy  
            Souza Silva Fernandes. — 2021.  
            82 p.

            Orientador(a): Mateus Gomes Lima.  
            Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade  
            Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas,  
            Faculdade de Física, Curso de Licenciatura Plena em Física, Marabá,  
            2021.

            1. Física nuclear - Estudo e ensino. 2. Fusão nuclear. 3. Fissão  
            nuclear. 4. Didática - Estudo e ensino (Ensino fundamental). 5.  
            Tecnologia educacional. 6. Internet na educação. I. Lima, Mateus  
            Gomes, orient. II. Título.

---

CDD: 22. ed.: 539.725

Elaborado por Adriana Barbosa da Costa – CRB-2/994



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ

ATA DE DEFESA DE TCC Nº 163 / 2021 - FAFIS (11.07.02.03)

Nº do Protocolo: 23479.020439/2021-71

Marabá-PA, 21 de Dezembro de 2021

### ATA DE DEFESA DE TCC

Ata de apresentação e defesa de Trabalho de Conclusão de Curso para concessão de grau de Licenciado Pleno em Física, realizada às 9:00 do dia 17 de dezembro de 2021, de forma remota via google meet, intitulado "USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E OBJETOS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE FENÔMENOS NUCLEARES", foi apresentado durante 30 minutos pelo aluno: **SAMY SOUZA SILVA FERNANDES**, matrícula de nº 201840105040, diante da banca examinadora aprovada pela Faculdade de Física (FAFIS), do Instituto de Ciências Exatas(ICE) da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), assim constituída: Prof. Dr. Mateus Gomes Lima (Orientador/presidente), Profa. Dra. Maria Liduína das Chagas (Membro) e Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester (Membro). Em seguida, o aluno foi submetida à arguição, tendo demonstrado conhecimentos no tema, o Trabalho de Conclusão de Curso foi aprovado pela banca examinadora com conceito: **EXCELENTE**. Para constar foram lavrados os termos da presente ata, que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e do aluno.

#### Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mateus Gomes Lima (Orientador/presidente)

Profa. Dra. Maria Liduína das Chagas (Membro)

Prof. Dr. Rodrigo do Monte Gester (Membro)

Aluno: Samy Souza Silva Fernandes

(Assinado digitalmente em 22/12/2021 06:32)

MARIA LIDUINA DAS CHAGAS  
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
Matrícula: 2313860

(Assinado digitalmente em 21/12/2021 17:56)

MATEUS GOMES LIMA  
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
Matrícula: 1739143

(Assinado digitalmente em 21/12/2021 17:41)

RODRIGO DO MONTE GESTER  
PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR  
Matrícula: 1766369

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.unifesspa.edu.br/public/documentos/> informando seu número: **163**, ano: **2021**, tipo: **ATA DE DEFESA DE TCC**, data de emissão: **21/12/2021** e o código de verificação: **dec3e06f3e**

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

# Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados em primeiro lugar a Deus, a quem sei que sempre está ao meu lado. Agradeço aos meus pais, Ana Rosa e Antonio Simão, que nunca pouparam esforços para me dar uma boa educação, e que também sempre me apoiaram em minhas escolhas. Agradeço ao Dr. Mateus Gomes Lima, o meu Orientador, que ajudou-me de muitas formas na realização deste trabalho. Agradeço a minha linda esposa Tércila Fernandes e filha Ísis Victória Fernandes e todos aqueles que contribuíram ao longo destes anos.

Agradecimentos especiais são direcionados a Faculdade de Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, ao grupo de colegas da turma de Física do ano de 2018 e a todos os Discentes que foram grandes mentores nessa caminhada e que contribuíram e que ainda contribuirão para a evolução do conhecimento.

*“Porque Deus tanto amou o mundo que deu o seu Filho Unigênito, para que todo o que nele crer não pereça, mas tenha a vida eterna.” (João 3:16)*

# Resumo

Visando refletir sobre a inserção da física moderna e contemporânea no ensino básico, este trabalho apresenta uma sequência didática que tem como objetivo associar o uso de metodologias ativas, processo de ensino que promove necessariamente aprendizagem com significado e compreensão do aluno juntamente com os objetos digitais de aprendizagem, para a construção de conhecimentos sobre fenômenos nucleares, especificamente, os processos de: Fissão e Fusão Nuclear. No caso da educação básica brasileira, a Física ensinada nas escolas está focada na Física Clássica, tradicionalmente denominado educação bancária, no qual o professor é o detentor de todo o conhecimento. Para (FREIRE, 2013), o termo "bancário" significa que o professor vê o aluno como um banco, no qual deposita o conhecimento. Na prática, quer dizer que o aluno é como um cofre vazio em que o professor acrescenta fórmulas, letras e conhecimento científico até "enriquecer" o aluno. Diante do exposto, propõe-se uma sequência didática para a realização do processo de ensino e aprendizagem dos fenômenos de Fissão e Fusão Nuclear que associará as metodologias ativas, sala de aula invertida e aprendizagem baseada em problemas, aos objetos digitais de aprendizagem: Mapas Mentais e Conceituais, dentre essas alternativas, pode-se ressaltar a utilização das simulações computacionais para promover um ensino mais abrangente e eficiente, resolvendo alguns problemas do ensino tradicional. Durante os últimos anos, muitas pesquisas têm explorado a eficácia das simulações computacionais para apoiar o ensino e aprendizagem de ciências, pois é necessário entender as reais possibilidades e limitações desse instrumento para o ensino, bem como as maneiras mais adequadas para trabalhar-lo com os alunos. Temos como exemplo as simulações do Projeto PhET (Figura 9) e VASCAK (figura 10). Além disso, a sequência didática disposta na (tabela 2) será implementada em um site educativo, desenvolvido com a plataforma Google Suite, que hospedará os objetos digitais de aprendizagem, promovendo um Ambiente Virtual de Aprendizagem.

**Palavras-chaves:** Fissão e Fusão Nuclear; Metodologias Ativas e Objetos Digitais de Aprendizagem.

# Abstract

Aiming to reflect on the insertion of Modern and Contemporary Physics in basic education, this work presents a didactic sequence that aims to associate the use of active methodologies, a teaching process that necessarily promotes learning with meaning and understanding of the student together with the digital objects of learning, for the construction of knowledge about nuclear phenomena, specifically, the processes of: Fission and Nuclear Fusion. In the case of Brazilian basic education, Physics taught in schools is focused on Classical Physics, traditionally called banking education, without teacher qualification, it is the holder of all knowledge. For (FREIRE, 2013), the term "banking" means that the teacher sees the student as a bank, in which he deposits knowledge. In practice, this means that the student is like an empty vault in which the teacher adds formulas, letters and scientific knowledge until he "enriches" the student. Given the above, a didactic sequence is proposed to carry out the teaching and learning process of the Fission and Nuclear Fusion phenomena that will associate active methodologies, inverted classroom and problem-based learning, to digital learning objects: Mind Maps and Conceptuals, among these alternatives, we can emphasize the use of computer simulations to promote a more specific and efficient teaching, to solve some problems of traditional teaching. During the last few years, many researches have explored the effectiveness of computer simulations to support the teaching and learning of science, as it is necessary to understand the real possibilities and limitations of this instrument for teaching, as well as the most appropriate ways to work it with students. We have as examples the simulations of the PhET Project (Figure 9) and VASCAK (figure 10). In addition, the didactic sequence displayed in (table 2) will be implemented in an Educational Site, developed with the Google Suite platform, which will host the digital learning objects, promoting a Virtual Learning Environment.

**Key-words:** Fission and Nuclear Fusion; Active Methodologies and Digital Learning Objects.

# Lista de figuras

Figura 1 – Modelo Atômico de Thomson . . . . .	29
Figura 2 – Experimento de Rutherford . . . . .	30
Figura 3 – Representação do comportamento das radiações alfa e dos átomos . . . . .	31
Figura 4 – Representação do modelo atômico de Rutherford . . . . .	32
Figura 5 – Separação de um Átomo . . . . .	35
Figura 6 – Reação em Cadeia. Um nêutron liberado na fissão de um núcleo é capturado por outro, ocasionando sua fissão também, e assim sucessivamente. . . . .	39
Figura 7 – Funcionamento de um Reator Nuclear. . . . .	41
Figura 8 – As reações de fusão do hidrogênio são a fonte de energia das estrelas, incluindo o Sol. . . . .	41
Figura 9 – Tela da Simulação interativa do projeto PhET. . . . .	45
Figura 10 – Tela da Simulação interativa do projeto VASCK.CZ. . . . .	46
Figura 11 – Tela do Questionário de averiguação . . . . .	48
Figura 12 – Imagem referente ao vídeo “A História da energia nuclear (1895 - 1980)” . . . . .	49
Figura 13 – Imagem referente ao vídeo “EP 10/12   Reações de Fusão e Fissão Nuclear   websérie radioatividade” . . . . .	50
Figura 14 – Tela do Questionário exploratório dos Simuladores . . . . .	51
Figura 15 – O ciclo de aprendizagem - (ABP) . . . . .	53
Figura 16 – Tela do Questionário exploratório sobre o material de apoio . . . . .	54
Figura 17 – Dashboard do site da GoConqr . . . . .	55
Figura 18 – Escola Municipal Irmã Theodora . . . . .	57
Figura 19 – Aula Virtual com os alunos . . . . .	57
Figura 20 – Contagem da porcentagem de participação por Turma . . . . .	58
Figura 21 – Tutorial de utilização do site . . . . .	59
Figura 22 – Porcentagem de conhecimento com base na 1° pergunta . . . . .	60
Figura 23 – Porcentagem de conhecimento com base na 2° e 9° pergunta . . . . .	60
Figura 24 – Resenhas produzidas pelos alunos . . . . .	63
Figura 25 – Porcentagem de conhecimento com base na 5° pergunta . . . . .	64
Figura 26 – Tela do formulário com resposta de alguns alunos . . . . .	65
Figura 27 – Apresentação dos grupos . . . . .	68
Figura 28 – Pergunta de numero 2 do questionário exploratório dos livros . . . . .	68
Figura 29 – Pergunta de numero 6 do questionário exploratório dos livros . . . . .	70
Figura 30 – Pergunta de numero 8 do questionário exploratório dos livros . . . . .	71
Figura 31 – Pergunta de numero 9 do questionário exploratório dos livros . . . . .	71
Figura 32 – Mapa mental . . . . .	73
Figura 33 – Continuação do mapa mental . . . . .	74

Figura 34 – Declaração de trabalho aceito . . . . .	81
Figura 35 – Certificado de apresentação do trabalho . . . . .	82

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Interações fundamentais na natureza . . . . .	26
Tabela 2 – Organização da SD que será implementada no site educativo . . . . .	46
Tabela 3 – Pergunta relevante do questionário de averiguação . . . . .	61
Tabela 4 – Perguntas relevantes do questionário de averiguação . . . . .	62
Tabela 5 – Grupos do 2 ano A . . . . .	66
Tabela 6 – Tabela de rendimento de cada turma . . . . .	66
Tabela 8 – Grupos do 3 ano B . . . . .	66
Tabela 7 – Grupos do 3 ano A . . . . .	67
Tabela 9 – Pergunta de numero 3 do questionário exploratório dos livros . . . . .	69

# Lista de abreviaturas e siglas

SD	Sequência Didática
MA	Metodologias Ativas
ODA	Objetos Digitais de Aprendizagem
SAI	Sala de Aula Invertida
ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
TDIC	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
FMC	Física Moderna e Contemporânea
OMS	Organização Mundial de Saúde
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE-LOM	Learning Object Metadata
UNIFESSPA	Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
SNEF	Simpósio Nacional de Ensino de Física
SBF	Sociedade Brasileira de Física
TQC	Teoria Quântica de Campos

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetos de Aprendizagem</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Sala de Aula Invertida (SAI)</b>	<b>20</b>
2.2.1	Pilares fundamentais da (SAI)	20
2.2.2	(SAI) Possibilita a integração de outros modelos de ensino	21
2.2.3	Guia de campo da (SAI) (Flipped Classroom Field Guide)	21
2.2.3.1	REGRAS BÁSICAS	21
2.2.3.2	Explorando os recursos das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC)	22
2.2.3.3	Avaliação do Aluno	23
<b>2.3</b>	<b>A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)</b>	<b>23</b>
2.3.1	Quais são os pilares desse tipo de metodologia?	24
2.3.2	Quais são as vantagens mais marcantes dessa estratégia?	24
2.3.3	Como ela funciona na prática?	24
<b>2.4</b>	<b>APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS COMO ESTRATÉGIA À SALA DE AULA INVERTIDA: UMA PROPOSTA PARA ENSINO DE FÍSICA</b>	<b>25</b>
2.4.1	Elaboração da proposta de intervenção	25
<b>3</b>	<b>FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Interações fundamentais</b>	<b>26</b>
3.1.1	EXPLICAÇÃO DO CONTEÚDO DA TABELA	26
3.1.1.1	INTENSIDADE	26
3.1.1.2	TEORIA	26
3.1.1.3	MEDIADORES	28
<b>3.2</b>	<b>Estrutura da matéria</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>O Átomo</b>	<b>28</b>
3.3.1	Modelo atômico de Thomson	29
3.3.2	Experimento de Rutherford	30
3.3.2.1	Resultados do experimento de Rutherford	30
3.3.2.2	Características do modelo atômico de Rutherford	32
3.3.3	Características Gerais do Núcleo	32
3.3.3.1	Constituição	33
<b>3.4</b>	<b>A Energia Nuclear</b>	<b>34</b>

<b>3.5</b>	<b>Fissão Nuclear</b> . . . . .	<b>34</b>
3.5.1	Reatores Nucleares de Fissão . . . . .	39
<b>3.6</b>	<b>Fusão Nuclear</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> . . . . .	<b>44</b>
4.0.1	Organização da Sequência Didática . . . . .	47
4.0.1.1	METODOLOGIA . . . . .	47
4.0.1.2	HABILIDADES (BNCC) . . . . .	47
4.0.1.3	TEMPO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA . . . . .	47
4.0.1.4	MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA . . . . .	47
4.0.2	PRÉ-ENCONTRO VIRTUAL . . . . .	48
<b>4.1</b>	<b>1º ENCONTRO VIRTUAL (PREPARAÇÃO)</b> . . . . .	<b>48</b>
4.1.1	INTRODUÇÃO . . . . .	48
4.1.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	48
4.1.3	CONCLUSÃO . . . . .	48
4.1.4	AVALIAÇÃO . . . . .	49
<b>4.2</b>	<b>1º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (ATIVIDADES PRELIMINARES)</b> . . . . .	<b>49</b>
4.2.1	INTRODUÇÃO . . . . .	49
4.2.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	49
4.2.3	CONCLUSÃO . . . . .	51
4.2.4	AVALIAÇÃO . . . . .	51
<b>4.3</b>	<b>2º ENCONTRO VIRTUAL (PROBLEMATIZAÇÃO)</b> . . . . .	<b>51</b>
4.3.1	INTRODUÇÃO . . . . .	51
4.3.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	52
4.3.3	CONCLUSÃO . . . . .	52
4.3.4	AVALIAÇÃO . . . . .	52
<b>4.4</b>	<b>2º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (PROBLEMATIZAÇÃO)</b> . . . . .	<b>52</b>
4.4.1	INTRODUÇÃO . . . . .	52
4.4.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	52
4.4.3	CONCLUSÃO . . . . .	54
4.4.4	AVALIAÇÃO . . . . .	54
<b>4.5</b>	<b>3º ENCONTRO VIRTUAL (SISTEMATIZAÇÃO)</b> . . . . .	<b>54</b>
4.5.1	INTRODUÇÃO . . . . .	54
4.5.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	54
4.5.3	CONCLUSÃO . . . . .	55
4.5.4	AVALIAÇÃO . . . . .	55
<b>4.6</b>	<b>3º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (AVALIAÇÃO)</b> . . . . .	<b>55</b>
4.6.1	INTRODUÇÃO . . . . .	55
4.6.2	DESENVOLVIMENTO . . . . .	55

4.6.3	CONCLUSÃO . . . . .	56
4.6.4	AVALIAÇÃO . . . . .	56
4.7	<b>FINALIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA . . . . .</b>	<b>56</b>
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>57</b>
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>76</b>
	<b>APÊNDICE A – TRABALHO SUBMETIDO E APROVADO NO XXIV SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA . .</b>	<b>80</b>

# 1 Introdução

O contexto no qual este trabalho está inserido é um conjunto de críticas ao processo tradicional de ensino e aprendizagem vigente em muitas instituições, se não na maioria delas. Essas críticas versam sobre uma metodologia fundamentada em aprendizagem mecânica ou bancária, no qual o professor é detentor de todo o conhecimento e em processos de reprodução e repetição de procedimentos memorizados. Especificamente para o ensino de física básica, observa-se uma ênfase na resolução de exercícios baseados na aplicação de "fórmulas". Observa-se o posicionamento institucional a favor de mudanças no processo de ensino de física, conforme apresentado na citação abaixo:

"Muitas vezes o ensino de Física inclui a resolução de inúmeros problemas, onde o desafio central para o aluno consiste em identificar qual fórmula deve ser utilizada. Esse tipo de questão, que exige, sobretudo, memorização, perde sentido se desejamos desenvolver outras competências"(BRASIL, 2006)

Para complementar com este pensamento, foi citado um trabalho de McDermott<sup>1</sup> (MCDERMOTT, 1993, p. 295):

"O critério mais utilizado no ensino de Física como uma medida do domínio de um conteúdo é o desempenho em problemas padrão quantitativos. Como as notas finais nas disciplinas atestam, muitos estudantes que concluem um curso introdutório típico podem resolver satisfatoriamente esses problemas. No entanto, eles frequentemente são dependentes de fórmulas memorizadas e não desenvolvem uma compreensão funcional da física, isto é, a habilidade de fazer o raciocínio necessário para aplicar os conceitos e os princípios físicos apropriados em situações não encontradas previamente."

Levando em consideração a importância de ações práticas que oportunizem um ensino da Física voltado para participação ativa dos estudantes na sala de aula, elaboramos uma proposta de intervenção fundamentada em duas metodologias ativas de ensino: a Sala de Aula Invertida (SAI) e a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP).

Pensando no espaço da sala de aula, especificamente no ensino básico, é plausível que a ação prática docente oportunize um envolvimento ativo dos jovens no processo

<sup>1</sup> No original, "The criterion most often used in physics instruction as a measure of mastery of the subject is performance on standard quantitative problems. As course grades attest, many students who complete a typical introductory course can solve such problems satisfactorily. However, they are often dependent on memorizes formulas and do not develop a functional understanding of physics, i.e., the ability to do the reasoning needed to apply appropriate concepts and physical principles in situations not previously encountered." (p. 295)

de ensino e aprendizagem. Nessa vertente, o uso das chamadas metodologias ativas de ensino podem transformar-se em ferramenta auxiliadora, ajudando o professor de Física a envolver seus estudantes de forma participativa e reflexiva nas aulas, deslocando-os da passividade e podendo contar com maior responsabilidade dos mesmos no processo de ensino aprendizagem (SILVA J. G.; ATAÍDE, 2019).

Dessa forma, levando em conta a importância de se propor estratégias de ensino centradas no estudante, e considerando a escassez de propostas de intervenções no ensino de Física que possuam aporte nas metodologias ativas de ensino, especificamente na SAI e ABP, foi elaborado uma sequência didática firmada na ação conjunta que agrega sequências de ações estrategicamente pensadas e distribuídas em encontros e pós-encontros virtuais, objetivando o ensino de certos conteúdos da Física, especificamente: Fissão e Fusão Nuclear.

O intuito da divulgação parcial da proposta de ensino é impulsionar os professores de Física da educação básica, a dinamizarem suas aulas envolvendo os estudantes de forma ativa no processo de ensino, na modalidade de ensino remoto.

## 2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo, apresentaremos a fundamentação teórica subjacente ao processo de uso de metodologias ativas e objetos digitais de aprendizagem e uso de aplicativos computacionais para o ensino de física, com objetivo na construção de conhecimento sobre fenômenos nucleares desenvolvidos e apresentados neste trabalho diante deste cenário pandêmico causada pelo vírus SARS-CoV-2 ou novo Coronavírus (COVID-19).

A pandemia de COVID-19 que acometeu a população mundial no início de 2020 exigiu dos governantes ações emergenciais nas mais variadas áreas da sociedade no intuito de conter a propagação da doença. As medidas de distanciamento social sugeridas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e adotadas na maioria dos países causaram o fechamento das escolas, o que impôs um novo modelo educacional, sustentado pelas tecnologias digitais e pautado nas metodologias da educação online (VIEIRA; SILVA, 2020).

O estudo sobre a inserção de metodologias ativas na educação, sobretudo por meio do uso das tecnologias digitais no processo de ensino e aprendizagem, não é recente. Desde o final do século passado, com a introdução do uso dos computadores na escola, diversas pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de identificar estratégias e consequências dessa utilização. O envolvimento das instituições de ensino, de professores e demais profissionais da educação nesse processo de implementação das tecnologias digitais é considerado um desafio, e discussões sobre o tema são recorrentes em diferentes instâncias. Assim surgiu a relação entre as metodologias ativas, incorporadas pelo uso de tecnologias digitais, e seu processo de implementação nas instituições de ensino (BACICH; MORAN, 2018).

As pesquisas atuais nas áreas da educação, psicologia e neurociência comprovam que o processo de aprendizagem é único e diferente para cada ser humano, e que cada um aprende o que é mais relevante e que faz sentido para ele, o que gera conexões cognitivas e emocionais. Metodologias ativas englobam uma concepção do processo de ensino e aprendizagem que considera a participação efetiva dos alunos na construção da sua aprendizagem, valorizando as diferentes formas pelas quais eles podem ser envolvidos nesse processo para que aprendam melhor, em seu próprio ritmo, tempo e estilo (BACICH; MORAN, 2018).

Aprendemos quando alguém mais experiente nos fala e aprendemos quando descobrimos a partir de um envolvimento mais direto, por questionamento e experimentação. As metodologias predominantes no ensino são as dedutivas: o professor transmite primeiro a teoria e depois o aluno deve aplicá-la a situações mais específicas, “[...] não apenas para nos adaptarmos à realidade, mas, sobretudo, para transformar, para nela intervir, recriando-a”

(FREIRE, 2013). O que constatamos, cada vez mais, é que a aprendizagem por meio da transmissão é importante, mas a aprendizagem por questionamento e experimentação é mais relevante para uma compreensão mais ampla e profunda.

Diante de um tempo de inovação tecnológica, observa-se grandes oportunidades pedagógicas relacionadas aos recursos visuais disponíveis pelo uso de computadores no processo de ensino e aprendizagem. Nesse sentido, somando conhecimentos associados aos conceitos de objetos digitais de aprendizagem, um conjunto de simuladores computacionais voltados para o ensino de física básica foram produzidos, abordando conceitos físicos identificados na literatura de pesquisa em ensino de física, mas de difícil aprendizagem e explanação por meio de recursos tradicionais. A abordagem visual, dinâmica e interativa desses conceitos físicos foi feita por meio de modelagem computacional e aplicação de um conjunto de pressupostos teóricos tanto na forma quanto no conteúdo, gerando simuladores computacionais para o ensino de física básica, que poderiam ser re combinados com diferentes materiais instrucionais, reutilizados em diferentes contextos escolares, catalogados em bancos de objetos de aprendizagem e trabalhados a partir de diferentes níveis de interatividade (FILHO, 2010).

Com a utilização destas metodologias ficam mais viáveis a compreensão da Física nuclear que estuda os fenômenos físicos relativos aos núcleos atômicos, como transições de energia, decaimentos radioativos, fissão e fusão nuclear, entre outros. O estudo da Física Nuclear envolve o desenvolvimento de modelos que expliquem o funcionamento dos núcleos atômicos e sua constituição, aplicações da energia nuclear em tratamentos médicos, desenvolvimento de tecnologias para a detecção de radiação, novas fontes de energia, etc. (HELERBROCK, 2021).

Neste capítulo, será apresentado uma discussão sobre cada um dos temas que fundamentam a produção da sequência didática: as ideias relativas a como se dá a aprendizagem, como promover um ensino interativo, a forma de utilização de recursos de visualização no ensino de ciências e o que se entende por letramento visual do estudante (FILHO, 2010). Essa discussão é concretizada no conceito de objetos de aprendizagem, que permite a operacionalização de todas essas ideias em materiais didáticos que podem ser utilizados por diferentes professores, de diferentes maneiras, em diferentes contextos educacionais.

## 2.1 Objetos de Aprendizagem

Objeto de Aprendizagem é uma unidade de ensino que pode ser reutilizável. Para que isto aconteça, é necessário que esse Objeto esteja devidamente catalogado e, armazenado em repositórios específicos para este fim.

Podem ser assim definidos:

“Objetos de Aprendizagem são definidos como uma entidade, digital ou não digital, que pode ser usada e reutilizada ou referenciada durante um processo de suporte tecnológico ao ensino e aprendizagem. Exemplos de tecnologia de suporte ao processo de ensino e aprendizagem incluem aprendizagem interativa, sistemas instrucionais assistido por computadores inteligentes, sistemas de educação à distância, e ambientes de aprendizagem colaborativa. Exemplos de objetos de aprendizagem incluem conteúdos de aplicação multimídia, conteúdos instrucionais, objetivos de aprendizagem, ferramentas de software e software instrucional, pessoas, organizações ou eventos referenciados durante o processo de suporte da tecnologia ao ensino e aprendizagem”. (COSTA et al., 2017)

Essa definição veio do consórcio IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), com o objetivo de catalogar esses materiais. As regras de catalogação, os metadados, resultaram em uma especificação internacional a IEEE-LOM (Learning Object Metadata). Esses metadados podem se referir às características gerais, aspectos técnicos, sobre aspectos pedagógicos, etc (PORTAL, 2013).

Veja esta outra definição: “conjunto de informações que contém rotinas e estruturas de dados que interagem com outros objetos. Nos Objetos de Aprendizagem, o ‘objeto’ serve para encapsular ou ‘armazenar’ materiais digitais, transformando-os em módulos reutilizáveis de fácil manipulação” (DOWNES, 2001; HANDA; SILVA, 2003).

Dessas definições pode-se concluir que os Objetos de Aprendizagem são animações interativas que permitem estimular e despertar a curiosidade dos alunos, levando-os a resolverem desafios de forma colaborativa, desenvolvendo o raciocínio.

## 2.2 Sala de Aula Invertida (SAI)

Criada em 2007, por dois professores do ensino médio, Jonathan Bergmann e Aaron Sams, gravando suas aulas para os alunos que faltavam, realizando as instruções dos conteúdos fora da sala de aula utilizando vídeo-aulas e o tempo de classe sendo liberado para atividades ativas (RODRIGUES; SPINASSE; VOSGERAU, 2015). A SAI é um modelo cujo funcionamento prático consiste em uma inversão da lógica convencional de ensino, isto é, o que tradicionalmente é feito em sala de aula é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito em casa, é realizado em sala de aula, porém de uma maneira coletiva, já que em sala há interação entre os colegas e o professor (BERGMANN; SAMS, 2016).

### 2.2.1 Pilares fundamentais da (SAI)

1. **AMBIENTE FLEXÍVEL** (Flexible Environment): Preconiza que a aprendizagem invertida possibilita envolver vários estilos de aprendizagem, e, portanto, os professores que invertem suas aulas devem criar espaços flexíveis, tanto em termos de

organização física do ambiente de sala de aula, como no tempo de aprendizagem do estudante e nas avaliações de aprendizagem;

2. **CULTURA DE APRENDIZAGEM** (Learning Culture): Ao contrário do modelo convencional de ensino, onde a figura central do processo é o professor, na abordagem da aprendizagem invertida, o estudante passa a ser protagonista de seu aprendizado, e o tempo em sala de aula passa a ser dedicado a exploração do conteúdo com outras possibilidades de ensino;
3. **CONTEÚDO INTENCIONAL** (Intentional Content): Adverte que na aprendizagem invertida os professores pensam continuamente em como usar o modelo para ajudar seus alunos a desenvolverem compreensão conceitual e habilidade processual. Assim o professor configura o que precisa ser ensinado, organiza materiais e pensa nos recursos mais indicados para disponibiliza-los aos estudantes, definindo o que deve ser encaminhado e o que eles precisam buscar por si próprios, na SAI o professor precisa pensar o antes, o durante e o depois da aula;
4. **EDUCADOR PROFISSIONAL** (Professional Educator): Recorda que na aprendizagem invertida o professor torna-se muito mais exigente e é continuamente demandado em comparação com um professor do modelo convencional. Em sala de aula, realiza atendimento próximo aos estudantes e fornece feedback imediato, avaliando os trabalhos e procurando identificar dificuldades e possibilidades em seus alunos. Ele reflete sobre a sua prática e conecta-se com outros professores para melhorar sua própria instrução, aceita críticas e tolera o caos controlado na sala de aula. O professor é essencial para que a aprendizagem invertida ocorra ([NETWORK, 2014](#); [SCHNEIDERS, 2018](#); [VALÉRIO et al., 2021](#); [LUEDERS, 2018](#)).

## 2.2.2 (SAI) Possibilita a integração de outros modelos de ensino

Deve-se ao fato da SAI oportunizar a otimização do tempo em sala de aula. Como os alunos já tem contato com o conteúdo antes de vir para o momento presencial, o professor pode usar o tempo de aula para tirar dúvidas dos seus alunos, e aprofundar-se no conteúdo colocando-os frente a situações mais complexas e desafiadoras como na resolução de problemas.

## 2.2.3 Guia de campo da (SAI) (Flipped Classroom Field Guide)

### 2.2.3.1 REGRAS BÁSICAS

1. As atividades em sala de aula devem envolver uma quantidade significativa de questionamento, resolução de problemas e de outras atividades de aprendizagem ativa, obrigando o aluno a recuperar, aplicar e ampliar o material aprendido on-line;

2. Os alunos devem receber feedback imediatamente após a realização das atividades presenciais;
3. Os alunos devem ser incentivados a participar das atividades on-line e das presenciais, sendo que elas são computadas na avaliação formal do aluno, ou seja, valem nota;
4. Tanto o material a ser utilizado on-line quanto os ambientes de aprendizagem em sala de aula devem ser altamente estruturados e bem planejados.

Alguns cuidados, Sobre os materiais on-line, a maior parte das estratégias implantadas utiliza vídeos que o professor grava a partir de aulas presenciais ou com softwares. No entanto, é preciso dosar o número e o tamanho dos vídeos. A ideia não é substituir a aula presencial por vídeos, pois os alunos reclamam do fato de a aula expositiva ser “chata” e essa mesma aula transformada em vídeo pode ficar mais chata ainda!

### 2.2.3.2 Explorando os recursos das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC)

É importante o professor pensar que as TDIC oferecem outros recursos a serem explorados pedagogicamente, como animações, simulações ou mesmo o uso de laboratórios virtuais, que o aluno pode acessar e complementar com as leituras, ou mesmo os vídeos mais pontuais que ele assiste. A proposta é realmente integrar as TDIC nas atividades curriculares, como mencionado por (ALMEIDA; VALENTE, 2012).

### **CONTRIBUIÇÃO CENTRAL DAS TECNOLOGIAS DIGITAIS PARA A APRENDIZAGEM ATIVA**

As tecnologias digitais móveis, conectadas, leves, ubíquas são o motor e a expressão do dinamismo transformador, da aprendizagem social por compartilhamento, da aprendizagem por design, das tentativas constantes de aperfeiçoamento e de introdução de novos produtos, processos e relações. Hoje não são só apoio ao ensino, são eixos estruturantes de uma aprendizagem criativa, crítica, empreendedora, personalizada e compartilhada, sempre que haja profissionais da educação abertos e competentes (na educação formal), currículos abertos e metodologias ativas (GÓMEZ, 2015).

O acesso fácil (infraestrutura, banda larga, mobilidade) e as competências digitais são fundamentais para implementar propostas educacionais atuais, motivadoras e inovadoras. Escolas deficientes em integrar o digital no currículo são escolas incompletas, pois escamoteiam uma das dimensões básicas na qual os humanos vivem no século XXI, ou seja, conectados, em rede, navegando competentemente entre mundos antes separados, hoje híbridos, em que a sinergia de processos não distingue fronteiras físico-digitais “realidade” presencial-digital-virtual (COLL; MONEREO, 2010).

**As tecnologias:** [...] propiciam a reconfiguração da prática pedagógica, a abertura e plasticidade do currículo e o exercício da coautoria de professores e alunos. Por meio da mediação das tecnologias de informação e comunicação, o desenvolvimento do currículo se expande para além das fronteiras espaço-temporais da sala de aula e das instituições educativas; supera a prescrição de conteúdos apresentados em livros, portais e outros materiais; estabelece ligações com os diferentes espaços do saber e acontecimentos do cotidiano; e torna públicas as experiências, os valores e os conhecimentos, antes restritos ao grupo presente nos espaços físicos, onde se realizava o ato pedagógico (ALMEIDA; VALENTE, 2012).

A tecnologia em rede e móvel e as competências digitais são componentes fundamentais de uma educação plena. Um aluno não conectado e sem domínio digital perde importantes chances de se informar, de acessar materiais muito ricos disponíveis, de se comunicar, de se tornar visível para os demais, de publicar suas ideias e de aumentar sua empregabilidade futura.

O compartilhamento em tempo real é a chave da aprendizagem hoje. Aplicativos de comunicação como Hangouts e Skype etc. Facilitam a interação de grupos, a discussão de projetos e ideias, a apresentação de resultados e a orientação também mais personalizada (BACICH; MORAN, 2018)

### 2.2.3.3 Avaliação do Aluno

Para que o professor saiba o que o aluno aprendeu do estudo realizado on-line, praticamente todas as propostas de sala de aula invertida sugerem que o estudante realize testes autocorrigidos, elaborados na própria plataforma on-line, de modo que ele possa avaliar sua aprendizagem. Os resultados dessa avaliação, quando registrados na plataforma, permitem ao professor acessá-los e conhecer quais foram os pontos críticos do material estudado e que devem ser retomados em sala de aula.

## 2.3 A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)

A aprendizagem baseada em problemas, ou simplesmente conhecida como ABP (ou até mesmo PBL, sigla oriunda do inglês *problem based learning*) é, portanto, uma metodologia voltada para a aquisição do conhecimento por meio da resolução de situações. Essa é uma inovação muito interessante e que vem sendo utilizada com bastante sucesso mundo afora (NOEMI, 2019). Para complementar, são apresentados alguns questionamentos para ABP:

### 2.3.1 Quais são os pilares desse tipo de metodologia?

- A abordagem baseada na resolução de problemas tem como principal objetivo mesclar alguns dos princípios básicos da educação, ou seja, a teoria e a prática. A intenção aqui é fazer com que o aprendizado seja mais dinâmico e ocorra de forma simultânea, fazendo com que o aluno tenha as bases teóricas e teste-as ao mesmo tempo;
- A ABP faz com que os alunos se tornem muito mais engajados, especialmente por dar vez a outros métodos de ensino que diferem bastante da educação engessada das salas de aula tradicionais. Isso cativa o interesse da turma e, simultaneamente, os ajuda a desenvolver seus conhecimentos de forma mais abrangente;
- O principal pilar da ABP é, portanto, a organização da proposta pedagógica em torno da resolução de problemas e não com a separação de disciplinas a que estamos habituados. Além disso, há a preocupação com o ato de lecionar a teoria e fazer com que a classe aplique os conteúdos vistos imediatamente, fixando o aprendizado e explorando os conceitos mais profundamente.

### 2.3.2 Quais são as vantagens mais marcantes dessa estratégia?

1. Em primeiro lugar, o benefício mais facilmente observado desse tipo de metodologia é o maior engajamento dos alunos em relação ao ensino. Por trazer aulas mais dinâmicas e divertidas, eles participam muito mais e têm um desempenho muito mais satisfatório em sala de aula;
2. Depois, uma das vantagens mais marcantes é o desenvolvimento da autonomia e do protagonismo dos estudantes. Por ser uma metodologia voltada para a resolução ativa de problemas, os alunos aprendem a controlar o próprio aprendizado ao escolher os modos como absorvem o conhecimento;
3. Esse tipo de metodologia é, inclusive, muito democrático. Como existem vários tipos de inteligência em uma sala de aula, é muito mais fácil atingir a todos os estudantes simultaneamente quando utilizamos a estratégia ABP. Assim, todos podem aprender igualmente, fazendo com que a sala evolua em sincronia.

### 2.3.3 Como ela funciona na prática?

Toda a dinâmica da sala de aula é modificada quando utilizamos a metodologia ABP. Aqui, o professor não é mais visto como um mestre que se posiciona em frente à classe e dá a sua aula. Esse tipo de abordagem, que é praticamente unilateral, dá lugar a uma estrutura muito mais interessante. Na ABP, o professor atua como um guia que conduz os

estudantes e caminha lado a lado a eles na busca pelo conhecimento. São apresentados problemas cotidianos e, a partir deles, as disciplinas são ensinadas simultaneamente.

**Por exemplo:** um rio, em determinada cidade, encontra-se poluído. Como podemos solucionar esse problema?

A partir daí, várias questões de biologia, geografia, física e química são abordadas e, juntos, os alunos chegam a uma conclusão de como resolver esse problema. Esse tipo de abordagem pode ser feito pouco a pouco, fazendo com que os corpos docente e discente se habituem à nova realidade de maneira gradual.

Embora o ensino tradicional dê muito certo em várias escolas pelo Brasil, é inegável que essa abordagem tem se tornado cada vez mais obsoleta com o passar dos anos. O avanço da tecnologia e as próprias mudanças da sociedade e da geração atual (fenômenos comuns e que se repetem com frequência em nossa história) demandam novas estratégias para o ensino (NOEMI, 2019).

## 2.4 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS COMO ESTRATÉGIA À SALA DE AULA INVERTIDA: UMA PROPOSTA PARA ENSINO DE FÍSICA

### 2.4.1 Elaboração da proposta de intervenção

A proposta de intervenção descrita no capítulo 4, alia a SAI e a ABP em uma sequência diatática a ser aplicada em aulas de Física, visando o ensino dos seguintes conteúdos da Física: Fissão e Fusão Nuclear.

# 3 FISSÃO E FUSÃO NUCLEAR

## 3.1 Interações fundamentais

Os fenômenos do mundo material são descritos introduzindo-se uma variedade de forças diferentes como, por exemplo, a força peso, a força de atrito, a força de viscosidade, a força normal, a força elástica de deformação, a força elétrica e a força magnética. Contudo, descrevendo-se os fenômenos em termos de suas unidades microscópicas básicas e suas interações mútuas, aquela variedade de forças pode ser compreendida da seguinte maneira. Existem apenas 4 forças, ou interações, fundamentais na natureza. Essa ideia, uma das mais aceitas atualmente pela comunidade científica. São elas a interação gravitacional, a interação eletromagnética, a interação forte e a interação fraca. (PALANDI et al., 2010)

Tabela 1 – Interações fundamentais na natureza

Força ou interação fundamental	Intensidade	Teoria	Mediador
Forte	10	Cromodinâmica quântica	glúon
Eletromagnética	$10^{-2}$	Eletrodinâmica	fóton
Fraca	$10^{-13}$	Flavordinâmica	$W^\pm$ e $Z^0$
Gravitacional	$10^{-42}$	Geometrodinâmica	graviton

Fonte: Construção do autor.

### 3.1.1 EXPLICAÇÃO DO CONTEÚDO DA TABELA

#### 3.1.1.1 INTENSIDADE

Os valores acima atribuídos para as intensidade das forças não devem ser considerados de modo absoluto. Você verá valores bastante diferentes em vários livros, em particular no que diz respeito à força fraca. O cálculo desta intensidade depende da natureza da fonte e a que distância estamos fazendo a medição. O que importante notar é a razão entre elas: a força gravitacional é, de longe, a mais fraca entre todas, porém é a de maior alcance, sendo a responsável pela estabilidade dinâmica de todo o Universo (GAROTTI, 2018).

#### 3.1.1.2 TEORIA

Vemos na tabela que cada força está associada a uma teoria física. Vejamos alguns detalhes:

Conforme destacado por (GAROTTI, 2018).

- **Força gravitacional:** A teoria clássica da gravitação é a lei de Newton da Gravitação Universal. Sua generalização relativística é a teoria da Gravitação de Einstein, também chamada de Teoria da Relatividade Geral de Einstein. O melhor termo para ela seria Geometrodinâmica, uma vez que a relatividade geral geometriza a gravitação. Para descrever os estágios iniciais da formação do Universo precisamos de uma teoria quântica da gravitação, algo que os físicos ainda não possuem, apesar dos enormes esforços desenvolvidos para isto.
- **Eletrodinâmica:** Esta é a teoria física que descreve os fenômenos elétricos e magnéticos, ou seja as forças eletromagnéticas. A formulação clássica da Eletrodinâmica foi feita por James Clerk Maxwell. A teoria clássica construída por Maxwell já era consistente com a teoria da relatividade especial de Einstein. O "casamento" desta teoria com a mecânica quântica, ou seja, a construção de uma "Eletrodinâmica Quântica", foi realizada por grandes nomes da física tais como Feynman, Tomonaga e Schwinger nos anos que compõem a década de 1940.
- **Fraca:** As forças fracas são aquelas que explicam os processos de decaimento radiativo, tais como o decaimento beta nuclear, o decaimento do pion, do muon e de várias partículas "estranhas". É interessante notar que esta força não era conhecida pela física clássica e que sua formulação como teoria é estritamente quântica. A primeira teoria das interações fracas foi apresentada por Fermi em 1933. Mais tarde ela foi aperfeiçoada por Lee, Yang, Feynman, Gell-Mann e vários outros nos anos da década de 1950. Sua forma atual é devida a Glashow, Weinberg e Salam, que a propuseram nos anos da década de 1960. A nova teoria das interações fracas, que é chamada de flavordinâmica por causa de uma das propriedades intrínsecas das partículas elementares, é mais justamente conhecida como Teoria de Glashow-Weinberg-Salam. Nesta teoria, as interações fraca e eletromagnética são apresentadas como manifestações diferentes de uma única força, a força eletrofraca. Esta unificação entre a interação fraca e a interação eletromagnética reduz o número de forças existentes no Universo a apenas 3: força gravitacional, força forte e força eletrofraca.
- **Forte:** As forças fortes são aquelas responsáveis pelos fenômenos que ocorrem a curta distância no interior do núcleo atômico. A estabilidade nuclear está associada à força forte. É ela que mantém o núcleo unido evitando que os prótons que os constituem, por possuírem a mesma carga elétrica, simplesmente sofram uma intensa repulsão e destruam o próprio átomo. Se a força forte não existisse a matéria que forma o Universo, tal como o conhecemos, também não existiria. Prótons e nêutrons não conseguiriam se formar. Nós, seres humanos, não poderíamos existir. O trabalho pioneiro sobre as forças fortes foi realizado por Yukawa em 1934 mas até meados da década de 1970 não havia, realmente, uma teoria capaz de explicar os fenômenos nuclear. Foi então que surgiu a cromodinâmica quântica.

### 3.1.1.3 MEDIADORES

Ainda de acordo com o autor citado, ficou destacado que após a física ter abandonado o conceito de "ação-a-distância", foi introduzido o conceito de "campo". Cada partícula criava à sua volta uma perturbação, seu "campo", que era sentido pelas outras partículas. A Teoria Quântica de Campos (TQC) introduziu o conceito de "mediadores". Segundo a TQC cada uma das forças que existem na natureza é mediada pela troca de uma partícula que é chamada de "mediador". Estes mediadores transmitem a força entre uma partícula e outra. Assim, a força gravitacional é mediada por uma partícula chamada graviton. A força eletromagnética é mediada pelo fóton, a força forte pelos glúons e as forças fracas pelas partículas  $W^\pm$  e  $Z^0$ , que são chamadas de bósons vetoriais intermediários. Isto complica ainda mais o estudo das interações entre as partículas. Veja que antes descrevíamos a interação entre dois prótons como sendo a interação entre duas partículas. Hoje, sabendo que os prótons são partículas compostas por 3 quarks, vemos que a interação entre dois prótons é, na verdade, uma interação entre 6 quarks que trocam glúons incessantemente durante todo o processo. Só para deixar claro, existem 8 tipos de glúons.

## 3.2 Estrutura da matéria

O ferro é considerado um elemento químico bastante conhecido e fácil de ser encontrado.

Se triturarmos uma barra de ferro, obteremos pedaços cada vez menores, até atingirmos um tamanho mínimo, que ainda apresentará as propriedades químicas do ferro. Essa menor estrutura, que apresenta ainda as propriedades de um elemento químico, é denominada **ÁTOMO**, que significa indivisível.

## 3.3 O Átomo

Por muito tempo, pensou-se que o átomo, na forma acima definida, seria a menor porção da matéria e teria uma estrutura compacta. Porém, sabemos que atualmente que o átomo é constituído por partículas menores (sub-atômicas).

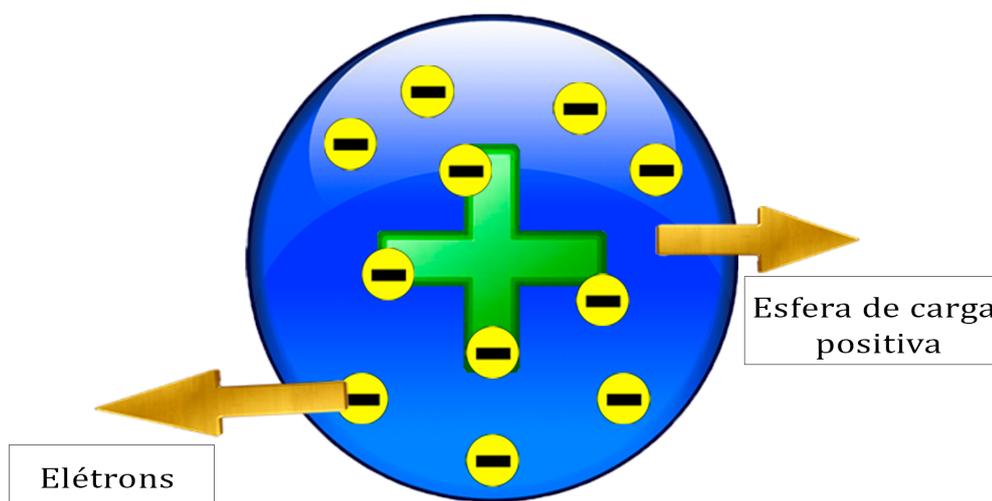
Essas partículas estão distribuídas numa forma semelhante à do Sistema Solar. Existe um núcleo, onde fica concentrada a massa do átomo, equivalente ao Sol, e minúsculas partículas que giram em seu redor, denominadas elétrons, correspondentes aos planetas. Os elétrons são partículas de carga negativa e massa muito pequena. O átomo possui também, como o Sistema Solar, grandes espaços vazios, que podem ser atravessados por partículas menores que ele. A comparação com o sistema solar, embora sirva para dar uma ideia visual da estrutura do átomo, destacando os "grandes espaços vazios", não exprime a realidade.

No final do século XIX, o elétron já era aceito como partícula fundamental, principalmente porque J. J. Thomson pode determinar sua razão carga/massa, e já era aceito como constituinte básico dos átomos porque elétrons eram emitidos por metais a alta temperatura (emissão termoiônica), por metais em que incidia radiação eletromagnética (efeito fotoelétrico) e por certos materiais radioativos (decaimento  $\beta$ ).

### 3.3.1 Modelo atômico de Thomson

No modelo de J. J. Thomson, proposto em 1904, o átomo era considerado como um tipo de fluido, com uma distribuição esférica contínua de carga positiva onde se incrustavam os elétrons, com carga negativa, em número suficiente para neutralizar a carga positiva (Figura 1).

Figura 1 – Modelo Atômico de Thomson



Fonte: Criação do autor

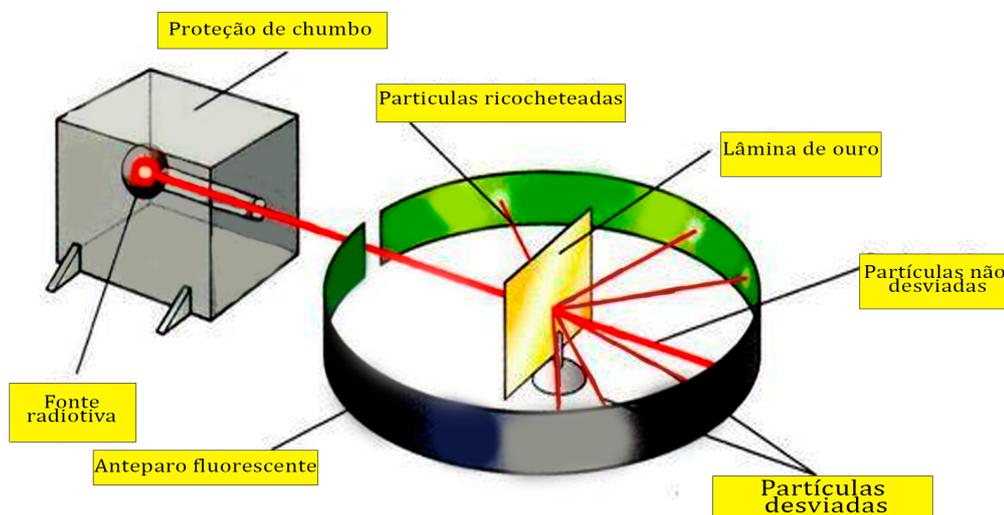
Segundo esse modelo, deveriam existir configurações estáveis para os elétrons e estes deveriam oscilar ao redor delas. Contudo, bem ao contrário, a Teoria Eletromagnética Clássica garantia que não poderia existir qualquer configuração estável num sistema de partículas carregadas, se a única interação entre elas é de caráter eletromagnético. Por outro lado, como qualquer partícula com carga elétrica, que se movimenta com aceleração não nula, emite radiação eletromagnética, o modelo previa que as frequências associadas às raias dos espectros atômicos deveriam ser iguais às frequências associadas aos modos normais das oscilações dos elétrons ao redor das suas configurações estáveis. Entretanto, jamais foi descoberta qualquer configuração para os elétrons de qualquer átomo cujos modos normais tivessem qualquer uma das frequências esperadas (PALANDI et al., 2010).

De qualquer modo, o modelo atômico de Thomson foi abandonado devido principalmente aos resultados do experimento de Rutherford, que eram consistentes com um modelo atômico em que a carga positiva do átomo se concentrava em uma pequena região do espaço que, além disso, continha praticamente toda a massa do átomo, com os elétrons espalhados ao redor dessa pequena região.

### 3.3.2 Experimento de Rutherford

Na época em que Thomson propôs seu modelo atômico, H. Geiger e E. Marsden estudavam o espalhamento de feixes bem colimados de partículas  $\alpha$ , que já se sabia serem núcleos de átomos de hélio, por finas folhas de ouro, pelo que hoje se conhece como o Experimento de Rutherford. Nesse experimento (Figura 2), uma fonte radioativa emite partículas  $\alpha$ , que são colimadas, formando um feixe paralelo e estreito, que incide sobre uma folha metálica muito pouco espessa. Para que seja possível construir essa folha, a maleabilidade do metal deve ser grande e, por isso, usa-se normalmente o ouro. A folha é tão fina que as partículas a atravessam completamente com apenas uma pequena diminuição no módulo da velocidade. Ao atravessar a folha, entretanto, cada partícula  $\alpha$  experimenta muitos desvios na sua trajetória devido à sua interação eletrostática com as partículas carregadas constituintes dos átomos da folha.

Figura 2 – Experimento de Rutherford



Fonte: (TORRES, 2016)

#### 3.3.2.1 Resultados do experimento de Rutherford

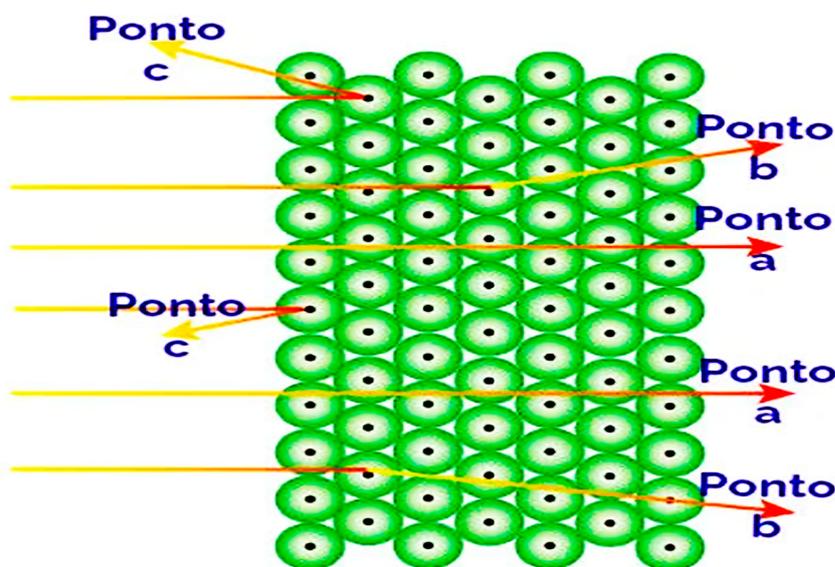
- **Região 1:** área que recebeu grande parte da radiação alfa emitida pelo polônio, o que evidenciou que essas radiações atravessaram a lâmina de ouro sem sofrer desvios

consideráveis;

- **Região 2:** áreas diversas, localizadas atrás da lâmina de ouro, que receberam uma pequena quantidade de radiação alfa, mas que não estavam na direção do orifício de saída da radiação na caixa de chumbo, o que evidenciou que essas radiações sofreram um grande desvio após a travessia da lâmina de ouro;
- **Região 3:** áreas localizadas à frente da lâmina de ouro que receberam uma quantidade extremamente pequena de radiação alfa, o que evidenciou que parte da radiação alfa chocou-se com a lâmina e foi rebatida.

Rutherford atribuiu esses resultados observados aos átomos que formam a lâmina de ouro, interpretando da seguinte forma:

Figura 3 – Representação do comportamento das radiações alfa e dos átomos



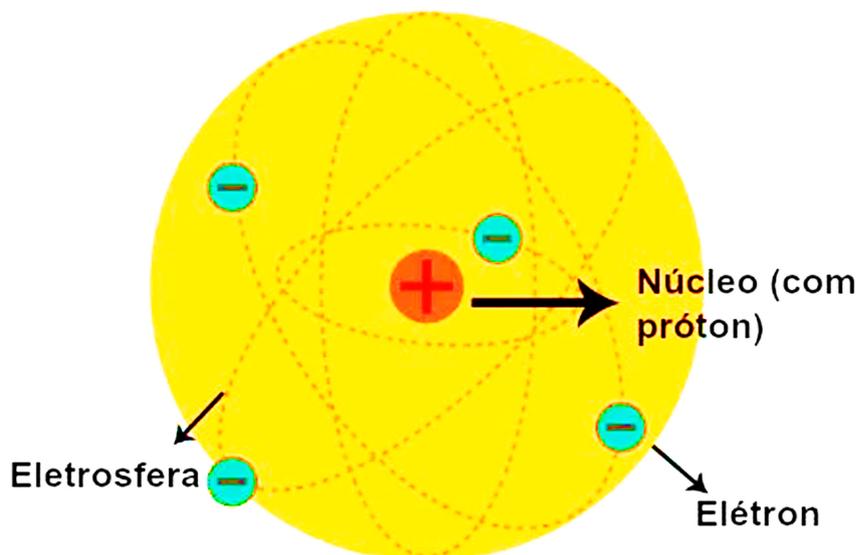
Fonte: (MAGALHÃES, 2020)

- **Região 1 (A):** Como grande parte da radiação alfa atravessou a lâmina de ouro sem nenhum empecilho, isso quer dizer que os átomos apresentavam grandes espaços vazios (eletrosfera), ou seja, regiões que não possuíam nada capaz de influenciar a radiação alfa;
- **Região 2 (B):** A quantidade pequena de radiação alfa que sofreu desvios passou próximo de uma região positiva (núcleo) do átomo, provavelmente de tamanho pequeno, o que promoveu o desvio.
- **Região 1 (C):** Como uma quantidade extremamente pequena de radiação alfa foi rebatida, isso quer dizer que elas se chocaram com uma região do átomo extremamente pequena que apresentava característica positiva.

### 3.3.2.2 Características do modelo atômico de Rutherford

Segundo (DIAS, 2021), após as observações realizadas por Rutherford, ele formulou o seu modelo atômico, que apresentava as seguintes características:

Figura 4 – Representação do modelo atômico de Rutherford



Fonte: (DIAS, 2021)

- a) Núcleo (que foi comparado ao sol no sistema solar) Uma região central do átomo que apresenta:
- partículas positivas (os prótons);
  - baixo volume;
  - maior massa;
  - maior densidade do átomo.
- b) Eletrosferas (que foram comparadas às órbitas descritas pelos planetas no sistema solar) Regiões do átomo que apresentam:
- imensos espaços vazios entre si;
  - partículas de natureza negativa (os elétrons).

### 3.3.3 Características Gerais do Núcleo

O raio de um núcleo típico é cerca de dez mil vezes menor que o raio do átomo ao qual pertence, mas contém mais de 99,9% da massa desse átomo.

### 3.3.3.1 Constituição

O núcleo do elemento da tabela periódica é representado pelo número atômico  $Z$  é constituído de prótons e  $N$  nêutrons. No átomo neutro correspondente, existem, ao redor desse núcleo,  $Z$  elétrons.  $A = N + Z$  é o número de núcleons ou, como também é chamado, número de massa.

As massas nucleares são convenientemente expressas em unidades de massa atômica ( $u$ ). Um átomo de carbono 12 é composto de 6 prótons, 6 nêutrons e 6 elétrons. Uma unidade de massa atômica é definida como sendo exatamente um doze avos da massa de um átomo de carbono 12. Em termos numéricos:

$$1u = 1,6605 \times 10^{-27}kg$$

A massa de um átomo de carbono 12 é:

$$m = 12(1,6605 \times 10^{-27}kg) = 1,9926 \times 10^{-26}kg$$

Como a massa de um elétron é:

$$m_e = 9,1094 \times 10^{-31}kg$$

a massa dos 6 elétrons do átomo de carbono 12 é:

$$m_{6e} = 6(9,1094 \times 10^{-31}kg) = 5,4656 \times 10^{-30}kg$$

Desse modo:

$$\frac{m_{6e}}{m} = \frac{5,4656 \times 10^{-30}kg}{1,9926 \times 10^{-26}kg} = 2,7429 \times 10^{-4}$$

Assim, a massa dos elétrons é desprezível comparada à massa do átomo como um todo e a massa do átomo pode ser considerada igual à massa do núcleo atômico.

Em termos da unidade de massa atômica, as massas do próton e do nêutron são, respectivamente:

$$m_p = 1,0078u$$

e

$$m_n = 1,0087u$$

Por outro lado, do valor do módulo da velocidade da luz no vácuo:

$$c = 2,9979 \times 10^8 m/s$$

e da relação entre joule e mega-eletron-volt:

$$j = 6,2415 \times 10^{-12} MeV$$

segue-se que:

$$uc^2 = 9,3148 \times 10^2 MeV$$

$$m_e c^2 = 5,1102 \times 10^{-1} MeV$$

$$m_p c^2 = 9,3875 \times 10^2 MeV$$

e

$$m_N c^2 = 9,3959 \times 10^2 MeV$$

## 3.4 A Energia Nuclear

Os prótons são positivamente carregados e têm a tendência de se repelirem, porque têm a mesma carga (positiva). Como eles estão juntos no núcleo, comprova-se a existência de uma energia nos núcleos dos átomos com mais de uma partícula para manter essa estrutura. A energia que mantém os prótons e nêutrons juntos no núcleo é a ENERGIA NUCLEAR, isto é a energia de ligação dos núcleons (partículas do núcleo) (CARDOSO et al., 2012).

Ainda segundo o autor, uma vez constatada a existência da energia nuclear, restava descobrir como utilizá-la. A forma imaginada para liberar a energia nuclear baseou-se na possibilidade de partir-se ou dividir-se o núcleo de um átomo “pesado”, isto é, com muitos prótons e nêutrons, em dois núcleos menores, através do impacto de um nêutron conforme a (Figura 5).

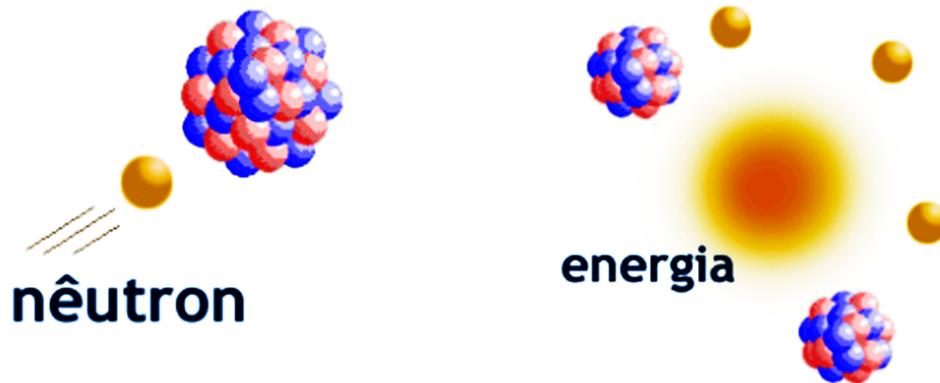
## 3.5 Fissão Nuclear

A divisão do núcleo de um átomo pesado, por exemplo, do urânio-235, em dois menores, quando atingido por um nêutron, é denominada fissão nuclear e pode produzir reações em cadeia capazes de emitir grandes quantidades de energia.

Experimentalmente foi verificado que quanto menor a energia do nêutron maior é a probabilidade de ocorrência de interações com o núcleo. Um nêutron rápido (energia maior que 1 MeV <sup>1</sup>), no interior da matéria sofre muitas colisões com o núcleo. Em cada colisão ele cede energia cinética para o núcleo, até se tornar um nêutron térmico, ou seja,

<sup>1</sup> MeV, Significa Milhões de Elétron-volt. Elétron-volt (eV) é uma unidade de energia utilizada para medições em nível nuclear, e é definida como a energia cinética adquirida por um elétron ao ser submetido a uma tensão de 1 volt.

Figura 5 – Separação de um Átomo



Fonte: (CARDOSO et al., 2012)

sua energia atinge a ordem da energia térmica  $kT$ , onde  $k$  é o constante de Boltzmann e  $T$  a temperatura absoluta (RAMOS et al., 2017).

O processo de captura do nêutron é expresso da seguinte forma:



Onde:

${}^1_0n$  - Representa o nêutron que é lançado e capturado por um núcleo X.

${}^A_zx$  - O núcleo que capturou o nêutron.

$\gamma$  - O raio gama emitido pelo núcleo.

$Z$  - Representa o número de prótons existentes num núcleo qualquer.

$N$  - Representa o número de nêutrons existentes num núcleo qualquer.

$A$  - Representa o número de Massa ( $A = Z + N$ ) existentes num núcleo qualquer.

Embora na equação (1) não esteja representado, o núcleo X em questão fica num estado excitado por um intervalo de tempo muito curto antes de emitir o raio gama. E em geral o núcleo resultante torna-se radioativo e decai por emissão de beta.

A equação básica da Fissão Nuclear é:



(2)

Onde:

${}^1_0n$  - - Representa o nêutron que é lançado sobre o núcleo do urânio.

${}^{235}_{92}U$  - - Representa o átomo de Urânio.

${}^{141}_{56}Ba$  - - Representa o átomo de um isótopo de bário que é um dos subprodutos da Fissão, ou fragmentos de fissão.

${}^{92}_{36}Kr$  - Representa o átomo de um isótopo de criptônio que é o outro subproduto da Fissão, ou fragmento de fissão.

$3 ({}^1_0n)$  - Representa os três nêutrons que são liberados e que irão atingir outros núcleos de outros  ${}^{235}_{92}U$ , provocando, assim, uma reação em cadeia.

(SERWAY; MACEDO, 1996, p. 225)

Como ocorre na realidade o processo de Fissão, um nêutron é lançado sobre o núcleo do Urânio 235 que, naturalmente já é um elemento instável. com a penetração deste núcleo o o Urânio 235 transforma-se no Urânio 236, num intervalo de tempo da ordem de  $10^{-12}$ s após este tempo se fragmenta em dois núcleos, (a média é de 2,5 nêutrons em cada fissão), que são os subprodutos da Fissão, e dois ou três neutros, (há possibilidade de formação de cerca de noventa núcleos subprodutos diferentes no resultado da fissão do Urânio), ocorrendo uma liberação de energia da ordem de 200 Mega Elétrons-volts, desta forma confirma a equação de Einstein:

$$E = m.c^2$$

(3)

Que mostra a transformação de matéria em energia (SERWAY; MACEDO, 1996, p.224)

Onde:

$E \rightarrow$  é a energia.

$m \rightarrow$  é a massa.

$c \rightarrow$  é a velocidade da luz no vácuo.

(NUSSENZVEIG, 2014, p. 218)

De um modo mais geral, podemos escrever a seguinte equação para energia de uma partícula livre

$$\varepsilon = k + mc^2, \tag{4}$$

sendo  $\varepsilon$  a energia relativística,  $K$  a energia cinética da partícula,  $m$  a sua massa de repouso e  $c$  a velocidade da luz. O ponto crucial dessa equação é que mesmo em repouso a partícula possui energia  $E = m.c^2$ , a qual está associada a massa.

O caso clássico, seja uma partícula de massa  $m$  movendo-se sobre o eixo  $x$ , desde  $x_0 = 0$  até  $x$ . sobre essa partícula atua uma força  $F$  que impulsiona a partícula desde uma velocidade inicial nula até uma velocidade  $v$ . De acordo com a segunda lei de Newton, que

$$F = \frac{dp}{dt},$$

onde  $p$  é o momento linear. De acordo com o teorema do trabalho-energia, o trabalho realizado pela força é:  $W = \Delta K = K$ . Assim,

$$W = \int_0^x F dx = \int_0^x \frac{dp}{dt} dx = \int_0^p v dP$$

Como o momento linear é  $p = mv$ , obtém-se o resultado

$$W = m \int_0^v v dv = \frac{1}{2}mv^2,$$

ou seja,

$$K = \frac{1}{2}mv^2. \tag{5}$$

O caso relativístico considerando a mesma situação anterior, tem -se

$$W = \int_0^P v dp.$$

O momento linear relativístico é dado por

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

sendo  $m$  a massa de repouso. Então, usando a relação  $vdp = d(vp) - pdv$ , encontra-se que

$$W = \int_0^u = [d(vp) - pdv].$$

E logo,

$$W = \left[ \frac{mv^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right]_0^v - m \int_0^v \frac{v dv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}.$$

Usando que

$$\int \frac{v dv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = -c^2 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}},$$

vem

$$W = \left[ \frac{mv^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right]_0^v + \left[ mc^2 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \right]_0^v = mc^2 = \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \right]_0^v.$$

Finalmente,

$$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2.$$

Portanto,

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2.$$

(6)

De fato, (6) corresponde à energia cinética, pois (a) Quando  $v = 0$ ,  $K = 0$ . (b) Quando  $\frac{v}{c} \ll 1$ , pode-se utilizar a expansão binomial  $(1+x)^n = 1+nx$  para  $|x|$  pequeno, para obter

$$K = mc^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} - mc^2 = mc^2 \left(1 + \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} - mc^2,$$

isto é,

$$K = \frac{1}{2}mv^2,$$

que é a expressão clássica da energia cinética. Retornando para (6) encontra-se

$$\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = K + mc^2 = \varepsilon,$$

sendo  $\varepsilon$  a energia relativística. E ainda, a energia de repouso será dada por

$$E = mc^2,$$

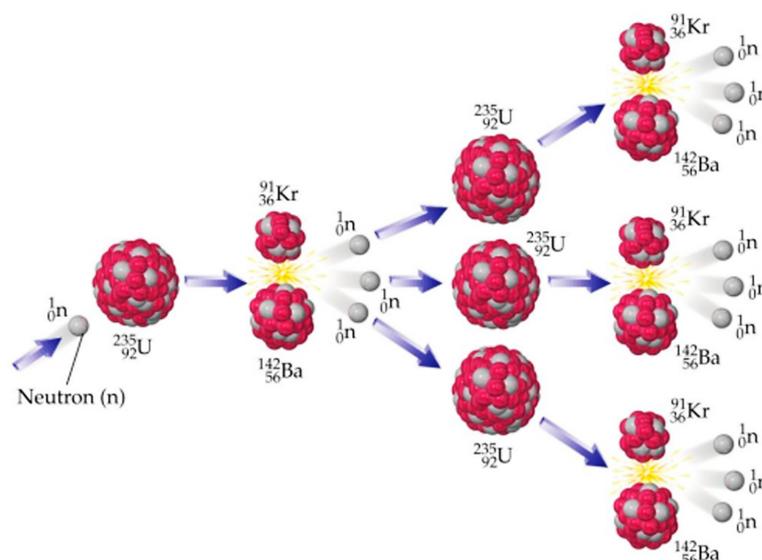
que é a formula de Einstein.

### 3.5.1 Reatores Nucleares de Fissão

A média de liberação de nêutrons por fissão é de 2,5 unidades. Estes nêutrons liberados atingem outros núcleos e de maneira sucessiva formam uma reação em cadeia. É necessário que esta reação seja controlada se não ocorrerá uma grande explosão de energia incrivelmente alta. 1g de  $^{235}\text{U}$  se liberada de uma só vez, equivaleria a uma explosão de 20.000.000 ( $2 \times 10^7$ ) kg de TNT <sup>2</sup> (SERWAY; MACEDO, 1996; RAMOS et al., 2017).

Na (Figura 6) vemos a representação da fissão de um átomo do  $^{235}\text{U}$  e a reação em cadeia que segue.

Figura 6 – Reação em Cadeia. Um nêutron liberado na fissão de um núcleo é capturado por outro, ocasionando sua fissão também, e assim sucessivamente.



Fonte: (RAMOS et al., 2017, p.214)

No interior dos reatores de fissão é necessário que haja o controle destas reações para que não ocorram estas explosões.

Ainda conforme o autor destacado, o urânio natural possui somente cerca de 0,7% do isótopo  $^{235}\text{U}$ , os outros 99,3% que formam a sua composição é o  $^{238}\text{U}$ , que raramente sofre a fissão. Para que haja maior possibilidade de ocorrência da fissão é necessário que se proceda o enriquecimento do urânio. É destacado no livro "Física e Energia Nuclear" do professor Jucimar Peruzzo, os vários percentuais de enriquecimento do urânio de acordo com a necessidade de uso.

O  $U$  é considerado fracamente enriquecido quando possui teor de  $^{235}\text{U}$  entre 0,7% e 20%. O  $U$  com teor de  $^{235}\text{U}$  entre 3% e 5% é geralmente utilizado em reatores de água leve, o tipo mais usado no mundo. Reatores

<sup>2</sup> TNT é a sigla de um composto químico, de grande poder de explosão, denominado trinitrotolueno.

de pesquisa requerem taxas de enriquecimento mais elevadas, geralmente de 12% a 20%. O  $U$  com teor de  $^{235}U$  entre 1% e 2% pode ser destinado a substituir o  $U$  natural como combustível, em certos tipos de reatores que utilizam água pesada.

Quando possui uma concentração de  $^{235}U$  superior a 20% é considerado altamente enriquecido. Essa classe de  $U$  é usada em certos tipos de reatores de nêutrons rápidos, como reatores de motorização de porta-aviões (propulsão nuclear), os quais requerem taxas de enriquecimento de 50% a 90%. Reatores com nêutrons rápidos para a produção de energia elétrica podem operar com  $U$  enriquecido à cerca de 25%. O  $U$  altamente enriquecido com um teor superior a 90% é dito de qualidade militar e é usado para a fabricação de armas nucleares (PERUZZO, 2012, p. 120-121).

Há vários processos utilizados para o enriquecimento do urânio. O que utiliza o Espectrógrafo de Massa, o processo de Jato Centrífugo, o processo por Difusão Gasosa, o processo por Ultracentrifugação, que é o mais utilizado e o processo de Separação por Laser (PERUZZO, 2012; RAMOS et al., 2017).

Quando observamos na (Figura 7) identificamos o funcionamento de uma usina termonuclear. No núcleo do reator acontece o processo de fissão através de reações em cadeia. O calor gerado aquece a água do circuito primário, que é mantida em alta pressão, evitando, assim que esta água entre em ebulição. Esta água do circuito primário funciona como elemento moderador no reator. O calor é transferido do circuito primário para a água do circuito secundário. O vapor formado no circuito secundário é submetido a altas pressões para acionar as turbinas que estão acopladas aos geradores que farão a transformação da energia cinética em energia elétrica. Após passar pelas turbinas este vapor é condensado para novamente retornar ao circuito secundário. Note que não há contato da água nos circuitos, a fim de que, a água do circuito secundário não fique contaminada com a radiação gerada no circuito primário. Este tipo de reator é conhecido como PWR. Há outros tipos, o BWR, o CANDU, o HTGR, o LMFBR e o do tipo RBMK. (PERUZZO, 2012, p. 147-153).

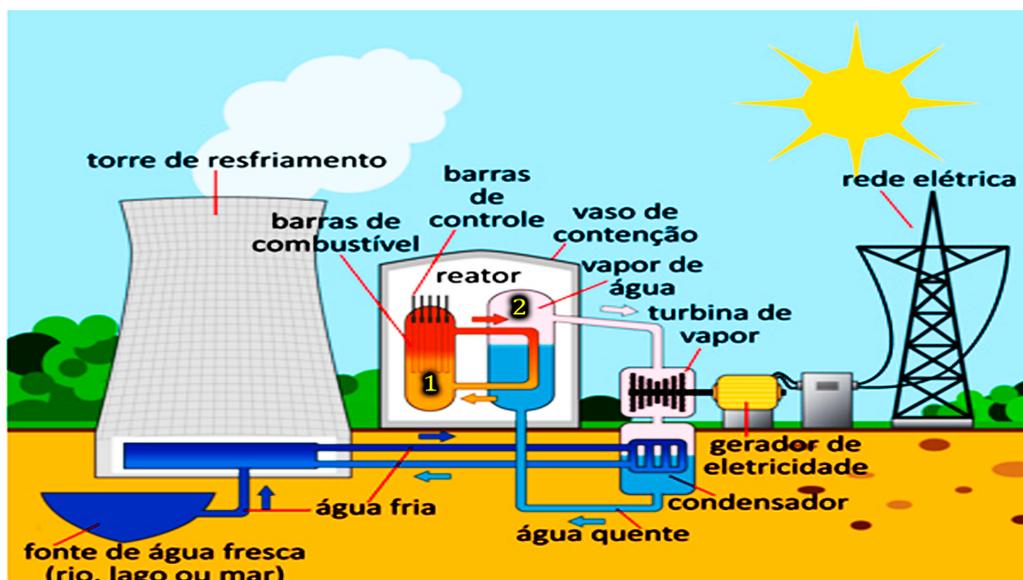
Nos exemplos apresentados analisamos a fissão do urânio-235. Evidentemente existem outros elementos fissuráveis.

## 3.6 Fusão Nuclear

Fusão nuclear é o processo de formação de um núcleo a partir da colisão e posterior junção de dois núcleos menores. A fusão é mais fácil com núcleos pequenos porque, uma vez que é necessário haver a colisão e a junção de dois núcleos, a repulsão das cargas positivas desses núcleos será menor. Mesmo assim, é necessária uma energia cinética muito alta para vencer essa repulsão e gerar a colisão.

Na natureza, o processo de Fusão Nuclear acontece no interior das estrelas. Quanto mais massiva a estrela, mais complexo é o fenômeno da Fusão, gerando elementos

Figura 7 – Funcionamento de um Reator Nuclear.

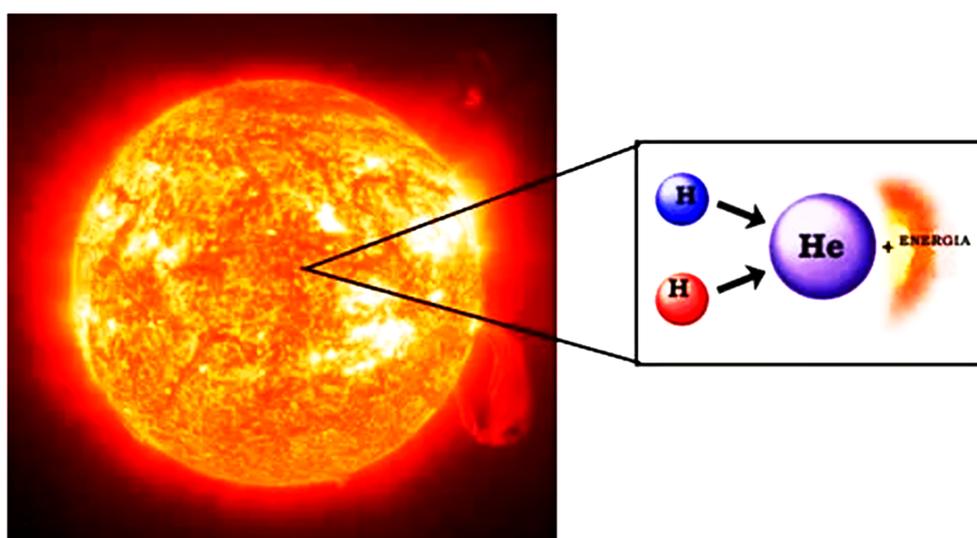


Fonte: Google imagens com adaptações

mais pesados. Há estrelas que fundem o Hélio produzindo Carbono, Oxigênio e Neônio (FOGAÇA, 2020).

Abaixo temos um exemplo de fusão nuclear em que se fundem dois núcleos, um de deutério e um de trítio, produzindo átomos de hélio:

Figura 8 – As reações de fusão do hidrogênio são a fonte de energia das estrelas, incluindo o Sol.



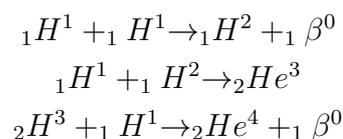
Fonte: (FOGAÇA, 2020)

A reação desse processo é:



Cerca de  $3.10^8 kJ/g$  de energia podem ser liberados a partir dessa reação. O processo de fusão vem acompanhado de liberação de energia porque as energias de ligação por núcleon dos núcleos iniciais são menores do que a energia de ligação por núcleon do núcleo final.

Outros processos, a energia liberada por estrelas, como o sol, é resultado de uma série de reações de fusão que ocorre, também, da seguinte maneira:



Equação global:  $4{}_1H^1 \rightarrow {}_2He^4 + 2{}_1\beta^0$ .

Para que a reação ocorra é necessário:

- Temperatura da ordem de milhões de graus Celsius:
- 300 milhões de atm...

Segundo (SABINO et al., 2019) a força entre dois núcleos de hidrogênio (prótons), A força elétrica entre duas partículas ( $q_1$  e  $q_2$ ) carregadas pode ser expressa como:

$$\vec{f}(\hat{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

onde:  $\vec{r} = (x_1 - x_2)\hat{i} + (y_1 - y_2)\hat{j} + (z_1 - z_2)\hat{k}$

Supondo que duas partículas tenham a mesma carga ( $q = q_1 = q_2$ ), que estejam no plano XY ( $z_1 = z_2 = 0$ ) e sejam oposta em relação à origem ( $x = x_1 = -x_2$  e  $y = y_1 = -y_2$ ) e com uma separação horizontal inicial.

$$\begin{aligned} \vec{r} &= 2x\hat{i} + 2y\hat{j} = 2(x\hat{i} + y\hat{j}) \\ r &= \sqrt{4x^2 + 4y^2} = \sqrt{2}\sqrt{x^2 + y^2} \\ \vec{f}(x, y) &= \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0} \left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)^{-3} (x\hat{i} + y\hat{j}) \end{aligned}$$

Separando em componentes

$$\begin{aligned} \vec{f}(x, y) &= f_x(x, y)\hat{i} + f_y(x, y)\hat{j} \\ f_x(x, y) &= \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0} \left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)^{-3} x \\ f_y(x, y) &= \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0} \left(\sqrt{x^2 + y^2}\right)^{-3} y \end{aligned}$$

A aceleração de uma partícula de massa  $m$

$$\begin{aligned}ax(x, y) &= k \left( \sqrt{x^2 + y^2} \right)^{-3} x \\ ay(x, y) &= k \left( \sqrt{x^2 + y^2} \right)^{-3} y\end{aligned}$$

onde:

$$k = \frac{1}{m} \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0}$$

Apesar dos esforços de se desenvolver um Reator de Fusão Nuclear, através de pesquisas com reatores de fusão a laser e reatores de fusão por eletroímãs. Pois sabemos que quando esta tecnologia for dominada será uma gigantesca conquista na geração de energia, pois através da fusão nuclear teremos energia limpa e ilimitada. Infelizmente à humanidade, até o presente momento, não conseguiu produzir, de forma economicamente viável, a fusão nuclear, para fins de geração de energia. O que se produziu até agora é a bomba de nêutrons, que usa a bomba atômica como gatilho para produzir temperaturas o suficiente para provocar a fusão dos materiais combustíveis (RAMOS et al., 2017).

## 4 Procedimentos Metodológicos

É proposto uma Sequência Didática (SD) que associa o uso de Metodologias Ativas (MA) e Objetos Digitais de Aprendizagem (ODA), para a construção de conhecimentos sobre fenômenos nucleares, especificamente, os processos de: Fissão e Fusão Nuclear. Essa SD é direcionada ao processo de ensino e aprendizagem na educação básica, na modalidade de ensino remoto.

A SD é uma estratégia de organização gradual do trabalho docente, quanto ao planejamento, aplicação dos conteúdos e a avaliação do desempenho dos estudantes, na qual o objetivo maior é facilitar a condução do processo de ensino e aprendizagem (CARVALHO; SASSERON, 2018). Já as MA são estratégias de ensino centrada na participação ativa dos estudantes na construção do processo de aprendizagem, por meio de atividades e/ou discussões que apresentam um caráter flexível, quanto a programas, técnicas e horários. Além disso, as MA devem respeitar o ritmo individual de trabalho e de assimilação do conhecimento dos estudantes. Para isso, é recomendável que as atividades propostas estejam interligadas e envolvam trabalho em grupo (STUDART, 2019). Nas MA o estudante é principal agente construtor de seu conhecimento, cabendo ao professor o papel de tutorar o processo de ensino e aprendizagem, mediando as dinâmicas em sala de aula (BACICH; MORAN, 2018).

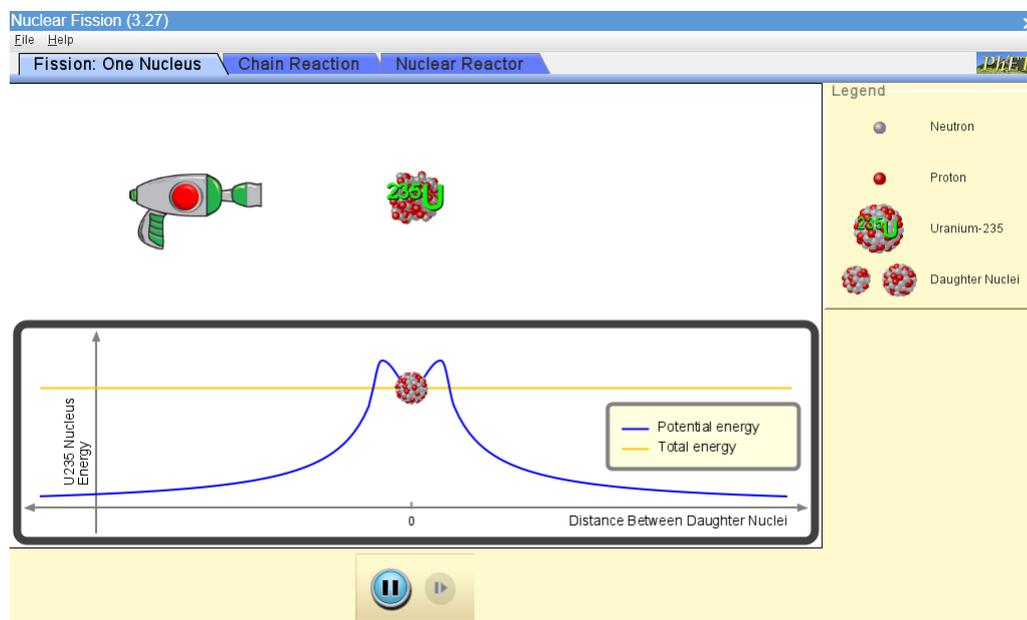
Duas MA que podem ser destacadas são: SAI e ABP (BACICH; MORAN, 2018). A SAI é uma MA que inverte a lógica convencional das aulas tradicionais, visto que os conteúdos e atividades, assim como fontes de pesquisas, devem ser encaminhados aos alunos em um momento anterior ao encontro com os mesmos. Isso permite que o tempo em sala de aula seja otimizado e possa ser aproveitado para aplicação de atividades que engajem de forma ativa os estudantes no processo de ensino e aprendizagem. Já a ABP é uma MA que tem como ponto de partida a utilização de problemas para a aquisição dos conhecimentos, que são consolidados por meio de discussões e realizações de atividades em grupo (SILVA J. G.; ATAÍDE, 2019).

A associação de MA e TDIC aumenta as potencialidades de uma prática pedagógica gerar uma aprendizagem significativa, quando comparada ao ensino tradicional (BERNINI, 2017; FREIRE, 2013). Isso ocorre, pois as TDIC permitem práticas mais dinâmicas, por meio da implementação desses ODA nas SD. Os ODA são recursos digitais que auxiliam a prática pedagógica, dentro e fora da sala de aula, como: sites educativos, hipertextos, áudios, vídeos, infográficos, mapas conceituais e/ou mentais, jogos digitais, animações e simulações computacionais, entre outros (WILEY et al., 2000; ALMEIDA; MORAN, 2005).

No caso da educação básica brasileira, a Física ensinada nas escolas está focada na Física Clássica, compreendida até meados do século XIX (MOREIRA, 2011). Há a necessidade de reformulação do currículo de Física da educação básica, no sentido da inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea (FMC) (PINTO; ZANETIC, 1999; FREIRE, 2013). Neste sentido, a abordagem de temas relacionados à Física Nuclear, pode contribuir de maneira significativa para essa mudança de paradigma de ensino de Física na educação básica.

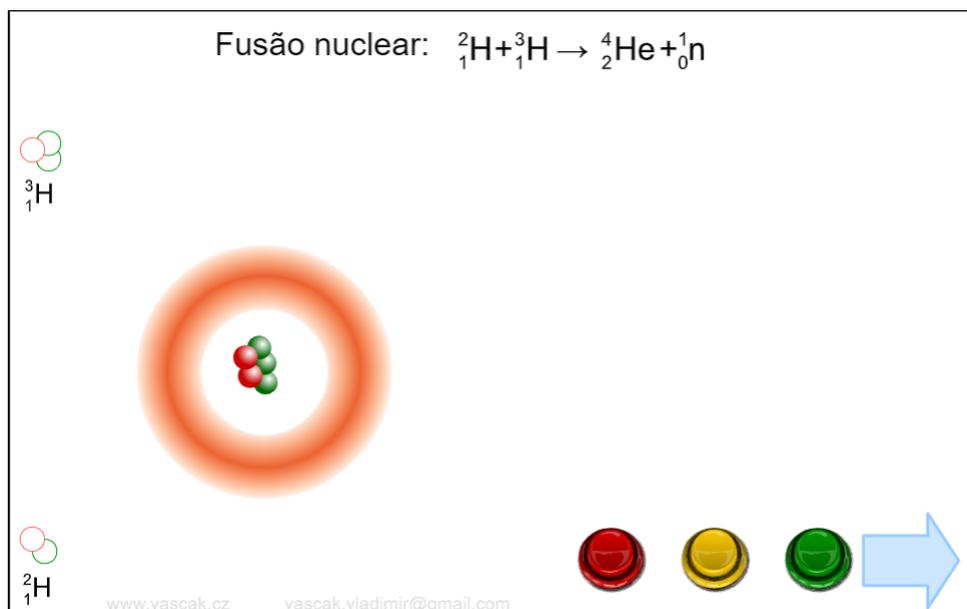
Diante do exposto, propõe-se uma SD para a realização do processo de ensino e aprendizagem dos fenômenos de Fissão e Fusão Nuclear que associará as MA SAI e ABP, aos ODA: Mapas Mentais e Conceituais, Animações Interativas e o Simulador Computacional do Projeto PhET (Figura 9), desenvolvido pela University of Colorado Boulder (<<https://phet.colorado.edu/>>) e indicação também de uso do simulador VASCAK.CZ (Figura 10), desenvolvido por RNDr. Vladimír Vasck (<<https://www.vacak.cz/?id=1&language=pt#>>). Além disso, a SD disposta no (Tabela 2) será implementada em um Site Educativo, desenvolvido com a plataforma Google Suite (<<https://sites.google.com/view/sti-educacional/in%C3%ADcio>>), que hospedará os ODA, promovendo um Ambiente Virtual de Aprendizagem.

Figura 9 – Tela da Simulação interativa do projeto PhET.



Fonte: <<https://phet.colorado.edu/en/simulation/nuclear-fission>>

Figura 10 – Tela da Simulação interativa do projeto VASCK.CZ.



Fonte: <[https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro\\_reakce&l=pt](https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt)>

Tabela 2 – Organização da SD que será implementada no site educativo

Momentos Pedagógico	Atividades
Pré-Encontro Virtual	Levantamento de conhecimentos prévios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Questionário de averiguação</li> <li>• Disponibilizar o plano de ensino</li> </ul>
1º Encontro Virtual (Preparação)	Apresentação da proposta de intervenção didático-pedagógica: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apresentação do site educativo: exposição da dinâmica de funcionamento das MA SAI e ABP e verificação de possíveis entraves à prática pedagógica;</li> <li>2. Formação dos grupos tutoriais: integração via WhatsApp;</li> </ol>
1º Pós-Encontro Virtual (Atividades Preliminares)	Disponibilização de materiais pedagógicos: <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Fissão e Fusão Nuclear: disponibilização de uma videoaula específica sobre a temática, com indicação de uso do Simulador PhET;</li> <li>4. Questionário exploratório sobre a Temática.</li> </ol>
2º Encontro Virtual (Problematização)	Distribuição de Problemas Específicos – ABP: <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Sessão Tutorial: distribuição de problemas aos grupos tutoriais e tabela organizacional (fatos, ideias, metas de estudos e plano de ação);</li> </ol>
2º Pós-Encontro Virtual (Problematização)	Disponibilização de Material de Apoio aos Estudos Prévios: <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Material de Apoio: Indicação de livros; hipertextos e vídeos complementares a temática.</li> <li>7. Questionário exploratório sobre o Material de Apoio.</li> </ol>
3º Encontro Virtual (Sistematização)	Construção Coletiva de Conhecimento: <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Sessão Tutorial: integração e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos entre os grupos tutoriais;</li> <li>9. Debate de encerramento.</li> </ol>
3º Pós-Encontro Virtual (Avaliação)	Avaliação do processo de ensino e aprendizagem: <ol style="list-style-type: none"> <li>10. Avaliação dos grupos tutoriais: Preenchimento de Mapas Mentais e Conceituais;</li> <li>11. Questionário de avaliação da intervenção didático-pedagógica, como um todo.</li> </ol>

Fonte: Construção do autor.

## 4.0.1 Organização da Sequência Didática

### 4.0.1.1 METODOLOGIA

Como abordagem metodológica para apresentação dos conteúdos que envolvem cada uma das aulas, será utilizado duas metodologias ativas <sup>1</sup> a Sala de Aula Invertida (SAI), as aulas invertidas ou flipped classroom, como o próprio nome sugere, propõem inverter a metodologia tradicional de ensino. Em vez de o professor expor o conteúdo, passando conhecimento a um grupo de estudantes a ideia é que esses estudantes já cheguem em sala de aula após ter estudado o conteúdo em casa.

Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) tem como propósito tornar o aluno capaz de construir o aprendizado conceitual, procedimental e atitudinal por meio de problemas propostos que o expõe a situações motivadoras e o prepara para o mundo do trabalho e os recursos dos vídeos disponibilizados na plataforma do YouTube e animações associadas aos conteúdos presentes nos vídeos.

### 4.0.1.2 HABILIDADES (BNCC)

- (EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades.
- (EF09CI06) Classificar as radiações eletromagnéticas por suas frequências, fontes e aplicações, discutindo e avaliando as implicações de seu uso em controle remoto, telefone celular, raio X, forno de micro-ondas, fotocélulas etc.
- (EF09CI03) Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.

### 4.0.1.3 TEMPO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

- 3 Encontros Virtuais
- Tempo Previsto de cada Aula: 1 hora
- Obs: Apenas o 3º pré e pós Encontro terão duração de 2 horas

### 4.0.1.4 MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A EXECUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

- Equipamentos para produção de áudio e vídeo, Software de gravação e edição, sites educativos e sala virtual.

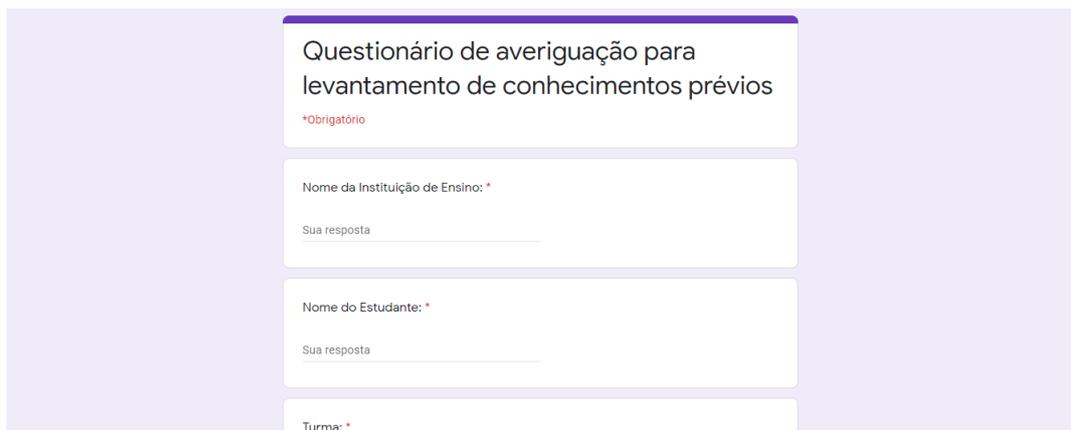
---

<sup>1</sup> Materiais a respeito das metodologias (SAI) e (ABP) podem ser encontradas nesse link: (<<https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1r-zToveB7sNt3I5xK31yaOkfRAx6Hcnd>>)

## 4.0.2 PRÉ-ENCONTRO VIRTUAL

- Disponibilizar o Plano de ensino.
- Questionário de averiguação para levantamento de conhecimentos prévios sobre Fenômenos nucleares disponível em: (<<https://forms.gle/sLyK4UoTACV6VP8T9>>).

Figura 11 – Tela do Questionário de averiguação



Questionário de averiguação para levantamento de conhecimentos prévios

\*Obrigatório

Nome da Instituição de Ensino: \*

Sua resposta

Nome do Estudante: \*

Sua resposta

Turma: \*

Fonte: Google Forms

## 4.1 1º ENCONTRO VIRTUAL (PREPARAÇÃO)

### 4.1.1 INTRODUÇÃO

- Discutir e apresentar os resultados do questionário de averiguação
- Apresentação e discussão do plano de ensino:

### 4.1.2 DESENVOLVIMENTO

1. Apresentação do site educativo: exposição da dinâmica de funcionamento das MA SAI e ABP e verificação de possíveis entraves à prática pedagógica;
2. Formação dos grupos tutoriais: integração via WhatsApp.

### 4.1.3 CONCLUSÃO

- Indicação de um vídeo disponível na plataforma do YouTube com o tema “A HISTÓRIA DA ENERGIA NUCLEAR (1895-1980)”. Disponível em: (<<https://youtu.be/uAFyF4pAiz0>>) (Figura 12).

Figura 12 – Imagem referente ao vídeo “A História da energia nuclear (1895 - 1980)”



Fonte: <[www.youtube.com](http://www.youtube.com)>

#### 4.1.4 AVALIAÇÃO

- Produção de uma resenha crítica a respeito da História da Energia Nuclear.
  - Máximo 4 laudas e mínimo 2.
  - Escrito a punho ou digitado.
- Obs: Data de entrega um dia antes do próximo encontro virtual.

### 4.2 1º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (ATIVIDADES PRELIMINARES)

#### 4.2.1 INTRODUÇÃO

- Feedback da resenha com base no vídeo passado no encontro anterior. “A História da Energia Nuclear”.
- Disponibilização de materiais pedagógicos:

#### 4.2.2 DESENVOLVIMENTO

3. Fissão e Fusão Nuclear: disponibilização de vídeo aulas específicas sobre a temática, disponível na plataforma do YouTube com o tema: “EP 10/12 | Reações de Fusão e Fissão Nuclear | websérie radioatividade”. Disponível em: (<<https://youtu.be/>

3Grwn2yWv04>) (Figura 13 ) e “SIMULADOR PHET - LUZ E RADIAÇÃO: FISSÃO NUCLEAR”. Disponível em: (<<https://youtu.be/Pp-NvFiOseI>>) com indicação de uso dos Simuladores PhET (Figura 9)<sup>2</sup>; e indicação também de uso do simulador VASCAK.CZ (Figura 10)<sup>3</sup>; Disponível em vários idiomas e possibilidade de reprodução em smartfone.

Figura 13 – Imagem referente ao vídeo “EP 10/12 | Reações de Fusão e Fissão Nuclear | websérie radioatividade”



Fonte: <[www.youtube.com](http://www.youtube.com)>

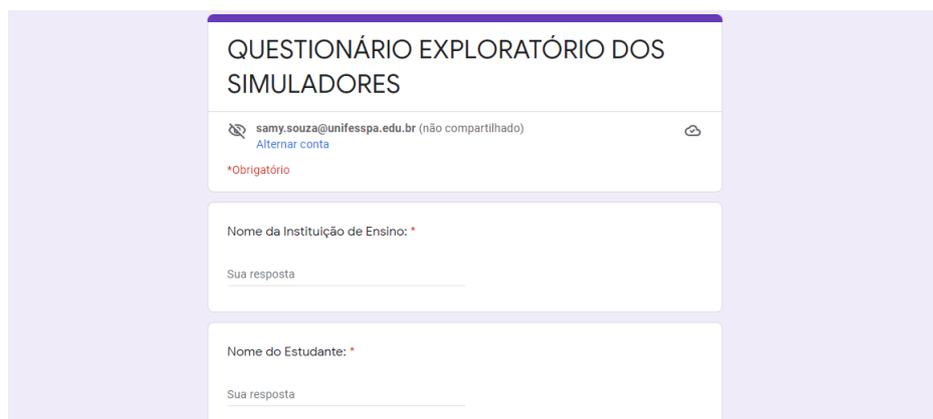
#### 4. Questionário exploratório sobre a Temática.

- Disponível em: (<<https://forms.gle/58QENCNFKfM8GWrv5>>) (Figura 14).

<sup>2</sup> "Simulador do PhET". Disponível em: (<<https://phet.colorado.edu/en/simulation/nuclear-fission>>)

<sup>3</sup> "Simulador do VASCK.CZ". Disponível em: (<[https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro\\_reakce&l=pt](https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=jadro_reakce&l=pt)>)

Figura 14 – Tela do Questionário exploratório dos Simuladores



QUESTIONÁRIO EXPLORATÓRIO DOS SIMULADORES

samy.souza@unifesspa.edu.br (não compartilhado)  
[Alternar conta](#)

\*Obrigatório

Nome da Instituição de Ensino: \*

Sua resposta

Nome do Estudante: \*

Sua resposta

Fonte: Google Forms

### 4.2.3 CONCLUSÃO

- Para complementar os estudos, os alunos deverão explorar os simuladores e verificar o seu funcionamento, pois o mesmo permite ser reproduzido no telefone celular e computador.

### 4.2.4 AVALIAÇÃO

- Ocorrera conforme a participação e engajamento de cada alunos nas atividades propostas.

## 4.3 2º ENCONTRO VIRTUAL (PROBLEMATIZAÇÃO)

### 4.3.1 INTRODUÇÃO

- Feedback sobre o questionário exploratório sobre o uso do simulador do PhET e VASCK.CZ
- Distribuição de Problemas Específicos - ABP em grupos, com os seguintes temas:

**TEMA: I** Impacto do lixo radioativo no meio ambiente;

**TEMA: II** Transporte e descarte seguro do lixo radioativo;

**TEMA: III** Papel das armas nucleares em conflitos políticos;

**TEMA: IV** Ação da física nuclear no diagnóstico e tratamento de doenças;

**TEMA: V** Vantagens e desvantagens da geração de energia nuclear para a sociedade e o meio ambiente.

## ORIENTAÇÕES PARA AS DISCUSSÕES EM GRUPOS

- Primeiro momento (Formular e Analisar o Problema);
- Segundo momento (Estudo Autodirigido);
- Terceiro momento (Problemas resolvidos e Problemas não resolvidos).

### 4.3.2 DESENVOLVIMENTO

5. Sessão Tutorial: distribuição de problemas aos grupos tutoriais e tabela organizacional (fatos, ideias, metas de estudos e plano de ação);

### 4.3.3 CONCLUSÃO

- Com base na distribuição dos problemas os grupos, deverão apontar quais os pontos positivos e negativos da radiação nuclear com base na tabela organizacional:

### 4.3.4 AVALIAÇÃO

- Ocorrera conforme a participação e engajamento de cada aluno

## 4.4 2º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (PROBLEMATIZAÇÃO)

### 4.4.1 INTRODUÇÃO

- Disponibilização de Material de Apoio para resolução dos problemas propostos:

### 4.4.2 DESENVOLVIMENTO

6. Material de Apoio: Indicação de livros; hipertextos e vídeos complementares conforme está organizado no link. Disponível em: (<[https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1XM6FgqyWhgICXj9\\_hF-HYh8o2l1DjUW8](https://drive.google.com/drive/u/3/folders/1XM6FgqyWhgICXj9_hF-HYh8o2l1DjUW8)>).

- O texto de número 05 é interdisciplinar ((MOTA et al., 2009)).
- Os textos de números 03 e 04 estão ligados ao tema (I) ((BASSO; SALAME; RAMOS, 2018; FRÖHLICH, 2016)).
- O texto de número 03 está ligado ao tema (II) ((BASSO; SALAME; RAMOS, 2018)).



Figura 16 – Tela do Questionário exploratório sobre o material de apoio

QUESTIONÁRIO EXPLORATÓRIO SOBRE  
O MATERIAL DE APOIO

\*Obrigatório

Nome da Instituição de Ensino: \*

Sua resposta

Nome do Estudante: \*

Sua resposta

Turma: \*

Fonte: Google Forms

### 4.4.3 CONCLUSÃO

- Os alunos deveram estudar os matérias disponibilizado, para que possa ser discutido no próximo encontro

### 4.4.4 AVALIAÇÃO

- Ocorrerá conforme a participação de cada aluno na resolução do questionário

## 4.5 3º ENCONTRO VIRTUAL (SISTEMATIZAÇÃO)

### 4.5.1 INTRODUÇÃO

- Feedback do questionário do encontro anterior, no qual cada grupo deverá tirar suas duvidas;
- Construção coletiva do conhecimento:

### 4.5.2 DESENVOLVIMENTO

8. Sessão Tutorial: integração e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos entre os grupos tutoriais;
9. Debate de encerramento.

### 4.5.3 CONCLUSÃO

- O professor reúne a contribuição dos alunos em grupo, para a criação de um mapa mental coletivo com textos e ilustrações que será desenvolvido no site da GoConqr<sup>4</sup> totalmente gratuito. Disponível em: (<<https://www.goconqr.com/pt-BR/>>) (Figura 17).

Figura 17 – Dashboard do site da GoConqr



Fonte: (<<https://www.goconqr.com/pt-BR/>>)

- Apresentar exemplos de mapas mentais ou conceituais pré-existent
- Ensinar a correta utilização da ferramenta

### 4.5.4 AVALIAÇÃO

- Observação e registro das interações durante a aula.

## 4.6 3º PÓS-ENCONTRO VIRTUAL (AVALIAÇÃO)

### 4.6.1 INTRODUÇÃO

- Avaliação do processo ensino e aprendizagem:

### 4.6.2 DESENVOLVIMENTO

10. Avaliação dos grupos tutoriais: Preenchimento de Mapas Mentais e Conceituais;

<sup>4</sup> "GoConqr é uma plataforma de aprendizagem social".  
Disponível em: (<<https://www.goconqr.com/pt-BR/>>)

11. Questionário de avaliação da intervenção didático-pedagógica, como um todo.

### 4.6.3 CONCLUSÃO

- Realizar a avaliação dos grupos, levando em consideração tudo o que foi produzido.

### 4.6.4 AVALIAÇÃO

- Observação e registro das interações durante as aulas, produções individuais e em grupos.

## 4.7 FINALIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA

Na literatura da área, ainda há poucas alternativas de TDIC para o ensino dos conteúdos de FMC (principalmente fenômenos nucleares) que estejam associadas às MA. Por isso, as pesquisas sobre uso e produção de ferramentas pedagógicas, como os ODA, apresentam considerável relevância na área do ensino de Física, envolvendo essa temática (FILHO, 2010; COSTA, 2017), principalmente, neste momento de pandemia de Covid-19, quando respostas que sejam adaptadas à realidade brasileira são urgentes.

## 5 Resultados e Discussão

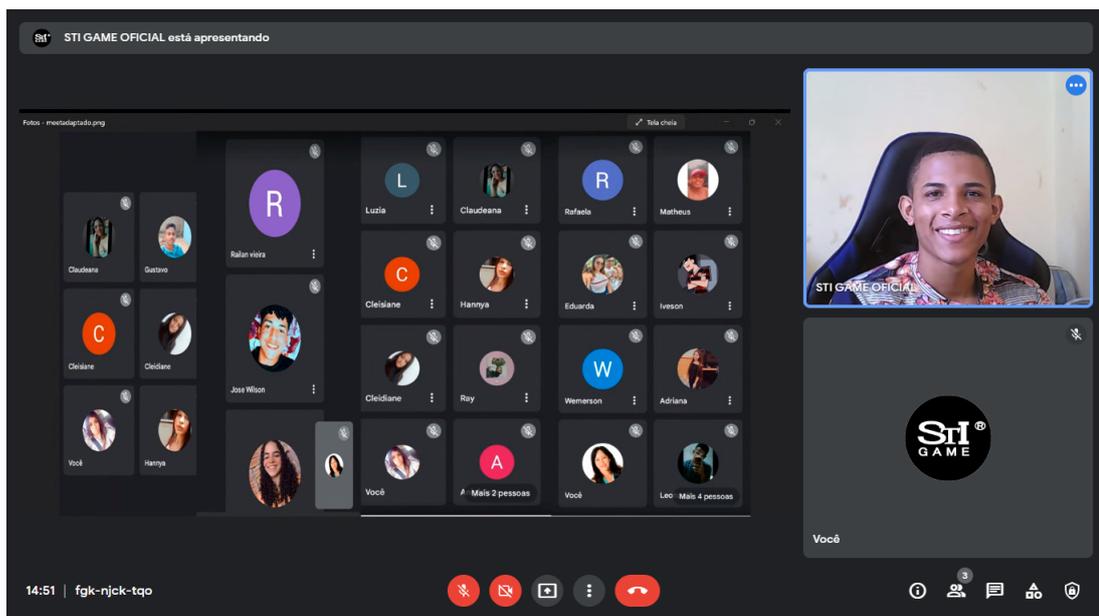
A aplicação da sequência didática proposta ocorreu na Escola Municipal Irmã Theodora (Figura 18), localizada na Avenida Paraíso, no bairro Liberdade, na cidade de Marabá-PA. Devido o período de distanciamento causado pela Covid 19 os encontros ocorreram virtualmente conforme a (Figura 19) adaptada de cada encontro.

Figura 18 – Escola Municipal Irmã Theodora



Fonte: Google imagens

Figura 19 – Aula Virtual com os alunos



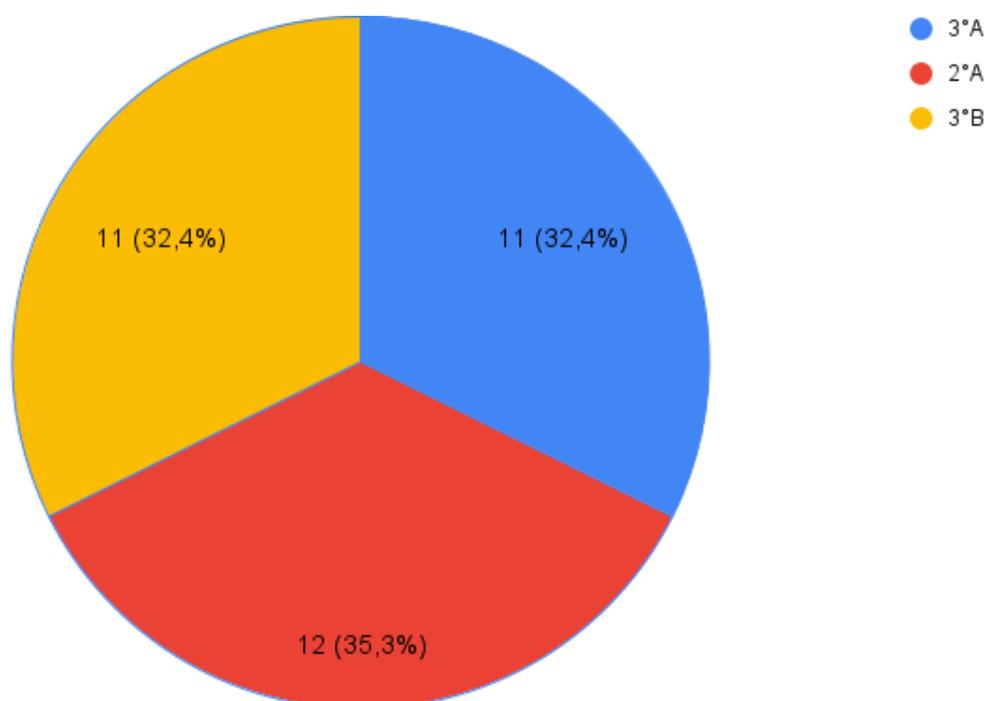
Fonte: google meet (adaptado)

A análise e a descrição dos dados estão apresentados nesta seção, onde a frequência das respostas extraídas dos questionários respondidos pelos sujeitos participantes da pesquisa.

A amostra foi composta com a participação de três turmas do ensino médio do período noturno, uma do 2º e duas do 3º ano, totalizando de forma agrupada 61 alunos conforme a lista de frequência da professora mais na prática ocorreu a participação apenas de 34 alunos ativos e não desistentes conforme a (Figura 20).

Foi feita apresentação do plano de ensino à turma e tudo o que ocorreria no decorrer dos encontros virtuais, logo após, foi apresentado o site e juntamente o tutorial de utilização do mesmo conforme a (Figura 21).

Figura 20 – Contagem da porcentagem de participação por Turma

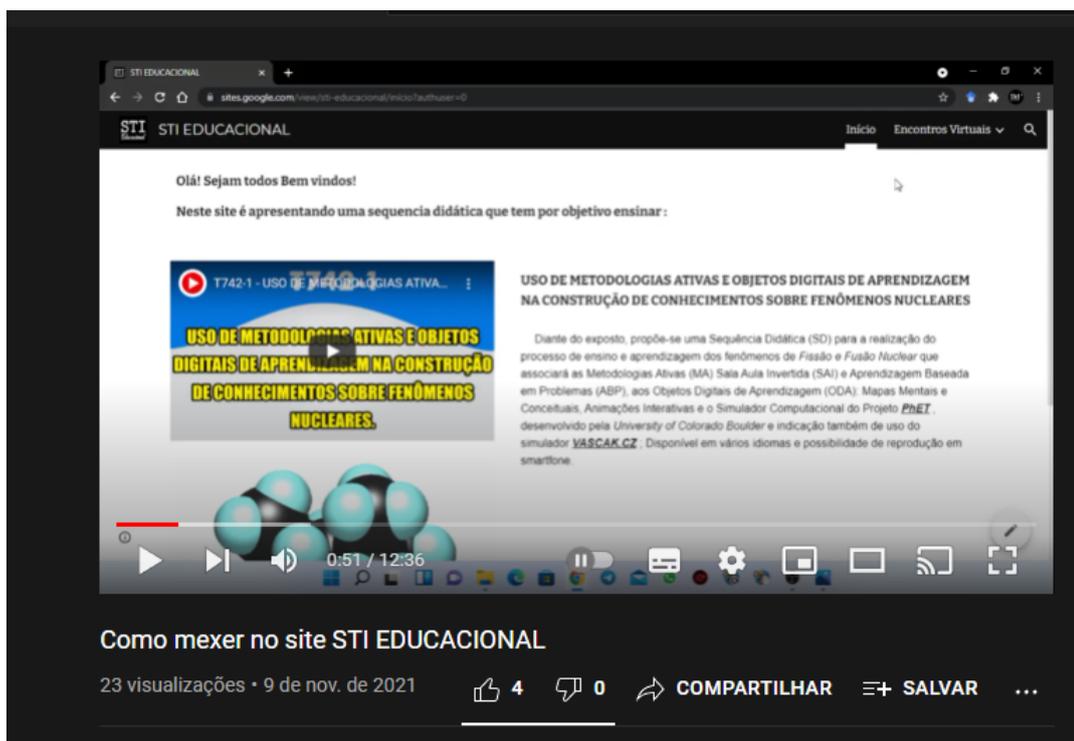


Fonte: criação do autor

De acordo com os resultados obtidos pelas respostas de todos os alunos no questionário averiguação (Tabela 3), foi possível perceber os conhecimentos prévios de cada um. Todos os dados que foram coletados estão inseridos nas tabelas, porém as questões abordadas na discussão foram das afirmativas que apresentaram maior relevância de acordo com o percentual de respostas dos alunos, estando representados por gráficos com valores em porcentagens.

Conforme demonstrado na (Figura 22), foi possível constatar que mais da metade da turma ou seja 57,7% não souberam responder o que é Física nuclear e conforme o (Tabela 3) verifica-se que existem diversas respostas idênticas e principalmente com traços que nos

Figura 21 – Tutorial de utilização do site



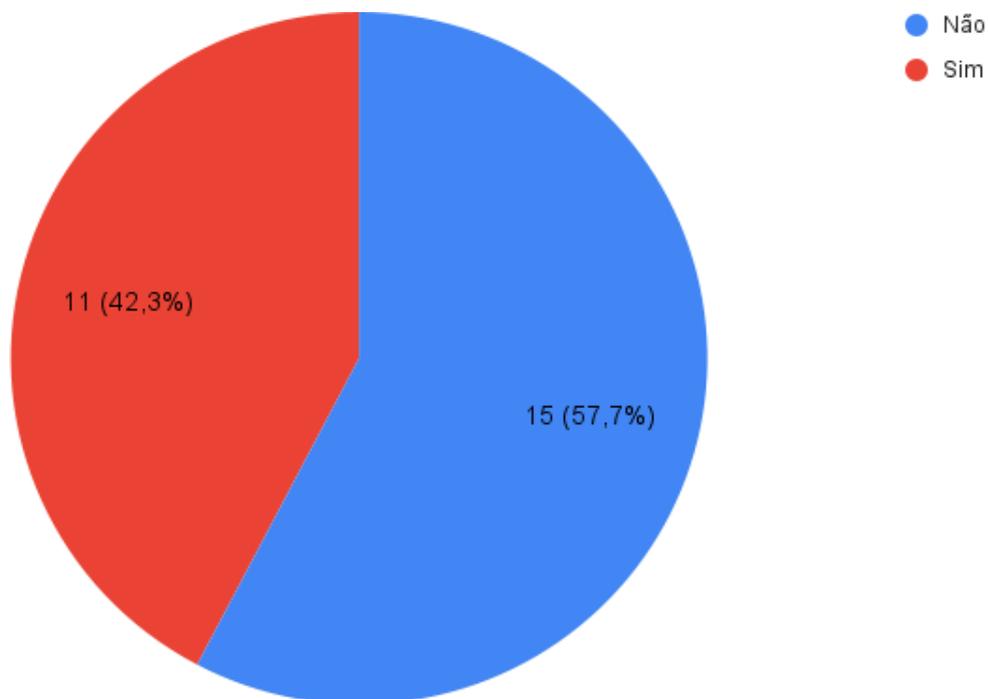
Fonte: <<https://www.youtube.com/watch?v=vbRDQVGB2gg>>

leva a deduzir que a resposta foi retirado diretamente da internet.

Uma outra pergunta de bastante relevância foi a apresentação das fotos dos cientistas "Ernest Rutherford" na questão de numero 2° e "Marie Curie" apresentada na questão de numero 9°, foi feita a pergunta para os alunos se eles tinham conhecimento de quem eram, e desta forma foi obtido o seguinte resultado: mais de 70% dos alunos não souberam identificar quem eram os cientistas conforme mostra a (Figura 23) e destacado por extenso na (Tabela 4).

Houve a indicação do vídeo com o tema "A história da energia nuclear" (Figura 12) no qual os alunos produziram uma resenha que foi enviado através do WhatsApp. destaca-se algumas na (Figura 24).

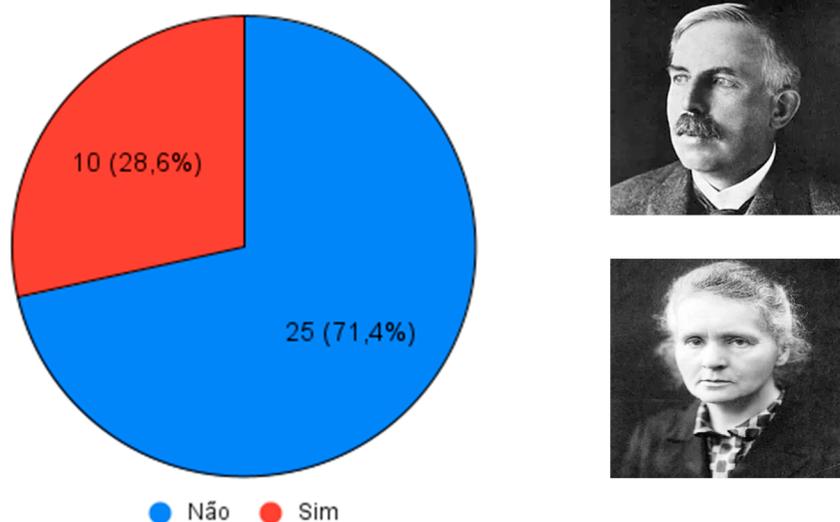
Figura 22 – Porcentagem de conhecimento com base na 1ª pergunta



Fonte: criação do autor

Figura 23 – Porcentagem de conhecimento com base na 2ª e 9ª pergunta

Contagem de 2º - Você conhece o(a) cientista que está nesta foto? Se sim, qual o nome dele(a)?



Fonte: criação do autor

Tabela 3 – Pergunta relevante do questionário de averiguação

Nome do Estudante:	Turma:	1º - Você sabe o que é física nuclear?
Aluno 1	3ºA	Não
Aluno 2	3ºA	Física Nuclear é a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos.
Aluno 3	3ºA	O estudo das leis da natureza
Aluno 4	3ºA	Infelizmente não.
Aluno 5	3ºA	Acho que sim kkk
Aluno 6	3ºA	Não estou lembrada .
Aluno 7	3ºA	Área da física que estuda os constituintes e interações dos estudo núcleo atômico
Aluno 8	3ºA	Área da física que estudar os continentes e interações dos estudos núcleo atômico
Aluno 9	3ºA	Sim
Aluno 10	3ºA	É uma área de pesquisa com grande relevância para a compreensão das leis da natureza.
Aluno 11	2ºA	Não
Aluno 12	2ºA	São vários cálculos matemáticos que desenvolve objetos nucleares.
Aluno 13	2ºA	Não Sei
Aluno 14	2ºA	Não
Aluno 15	2ºA	Não me recordo.
Aluno 16	2ºA	É um método de estudos sobre as matérias físicas nucleares, que busca encontrar métodos e etc.
Aluno 17	2ºA	Física Nuclear é a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos.
Aluno 18	2ºA	Não
Aluno 19	2ºA	É a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos.
Aluno 20	2ºA	Física nuclear é a área da física que estuda as interações núcleos atômicos.
Aluno 21	3ºA	E um estudo de partículas de núcleos atômicos com nêutrons e das interações entre eles na minha ideia de aprendizado.
Aluno 22	3ºB	Não
Aluno 23	3ºB	Quando estudei a segunda Guerra mundial e a guerra fria, foi abordado em muitas ocasiões as bombas nucleares porém eu nunca estudei física nuclear
Aluno 24	3ºB	Física Nuclear é a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos.
Aluno 25	3ºB	Sim
Aluno 26	3ºB	Não
Aluno 27	3ºB	A física nuclear é uma área de pesquisa com grande relevância para a compreensão das leis da natureza. Tem como objetivos estudar a estrutura dos núcleos atômicos, bem como os mecanismos de reações nucleares. Cada núcleo atômico contém certos números de prótons e de nêutrons.
Aluno 28	3ºB	É a área da física que estuda as núcleos atômicos
Aluno 29	3ºB	Física Nuclear é a área da física que estuda os constituintes e interações dos núcleos atômicos.
Aluno 30	3ºB	É uma área de pesquisa com grande relevância para compreensão das leis da natureza
Aluno 31	3ºB	É uma área de pesquisa com grande relevância para a compreensão das leis da natureza.
Aluno 32	3ºB	É uma área de pesquisa com grande relevância para a compreensão das leis da natureza.
Aluno 33	2ºA	É área da física que estuda os constituintes e alterações dos núcleo atômicos
Aluno 34	2ºA	É uma área que faz pesquisas para a compreensão das leis da natureza.

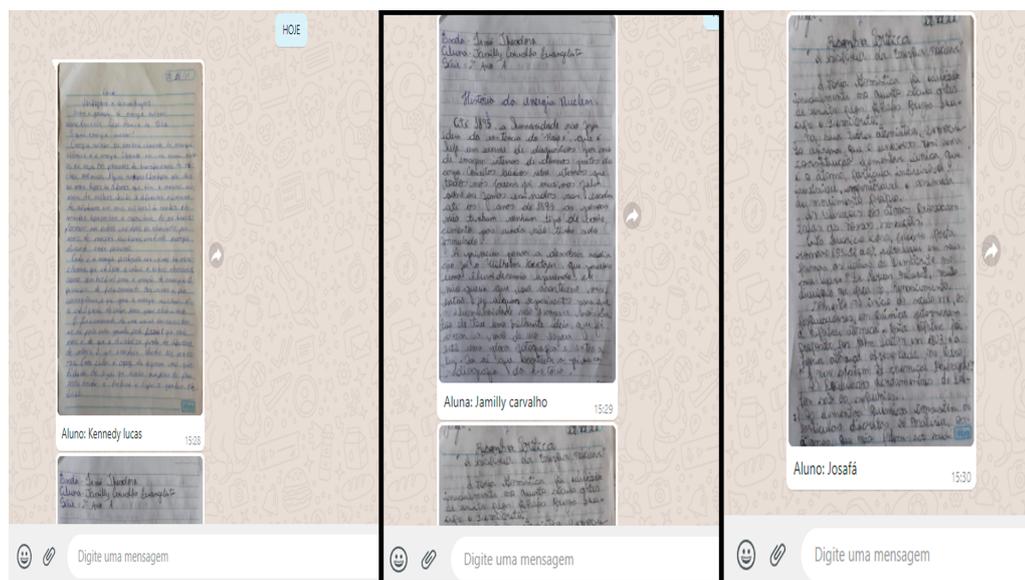
Fonte: Construção do autor.

Tabela 4 – Perguntas relevantes do questionário de averiguação

Nome do Estudante:	Turma:	2º - Você conhece o cientista que está nesta foto? Se sim, qual o nome dele?	9º - Você sabe quem foi essa cientista? Se sim, qual o nome dela?
Aluno 1	3ºA	Não	Não
Aluno 2	3ºA	Não	Não sei
Aluno 3	3ºA	Ernest Rutherford	Marie Curie
Aluno 4	3ºA	Ernest Rutherford	Marie Curie
Aluno 5	3ºA	Não!	Não
Aluno 6	3ºA	Não	Nao lembro
Aluno 7	3ºA	..	..
Aluno 8	3ºA	Não conheço	Não sei
Aluno 9	3ºA	Não sei	Nao sei
Aluno 10	3ºA	Ernest rutheford.	Marie Curie.
Aluno 11	2ºA	Não oh conheço	Não oh conheço
Aluno 12	2ºA	Não	Não ksksk
Aluno 13	2ºA	Não sei	Não sei
Aluno 14	2ºA	Não	Não sei
Aluno 15	2ºA	Não	Não
Aluno 16	2ºA	Não.	Não.
Aluno 17	2ºA	.	.
Aluno 18	2ºA	Não	Não sei
Aluno 19	2ºA	.	.
Aluno 20	2ºA	Ernest	Não sei !
Aluno 21	3ºA	Enerst rutherford	Não a conheço
Aluno 22	3ºB	Não conheço	Não sei
Aluno 23	3ºB	Não conheço	Não
Aluno 24	3ºB	Não	Marie Curie
Aluno 25	3ºB	Não	Não
Aluno 26	3ºB	Não sei	Não
Aluno 27	3ºB	Não sei	Não consegui identificar quem e .
Aluno 28	3ºB	Não sei	Não sei
Aluno 29	3ºB	Ernst Rutherford	Marie Curie
Aluno 30	3ºB	Ernest Rutherford	Marie Curie
Aluno 31	3ºB	Ernest Rutherford	Não
Aluno 32	3ºB	Ernest Rutherford	Marie curie
Aluno 33	2ºA	Ernest	Não conheço
Aluno 34	2ºA	Não conheço	Não

Fonte: Construção do autor.

Figura 24 – Resenhas produzidas pelos alunos



Fonte: criação do autor

O questionário proposto relacionado a utilização dos simuladores do PhET (Figura 9 e VASCAK 10) teve como objetivo mensurar o nível de entendimento de cada aluno conforme sua interação com os Software, além de investigar as críticas e sugestões sobre o uso das tecnologias digitais em sua praticas pedagógicas.

O questionário foi elaborado com dez perguntas que trataram de temas relacionados aos simuladores, com finalidade de se comprovar que através dos ODA os alunos conseguem melhores desempenho em comparação os métodos tradicionais de ensino-aprendizagem.

As perguntas do questionário foram direcionadas na maior parte ao processo de funcionamento dos simuladores. Os alunos participaram da pesquisa respondendo ao questionário, levando em consideração que não foram separado por turmas e todos são do período noturno das 2° e 3° série do ensino médio. Neste questionário também foram selecionadas as questões com maior relevância para coleta de informações no formato de gráficos.

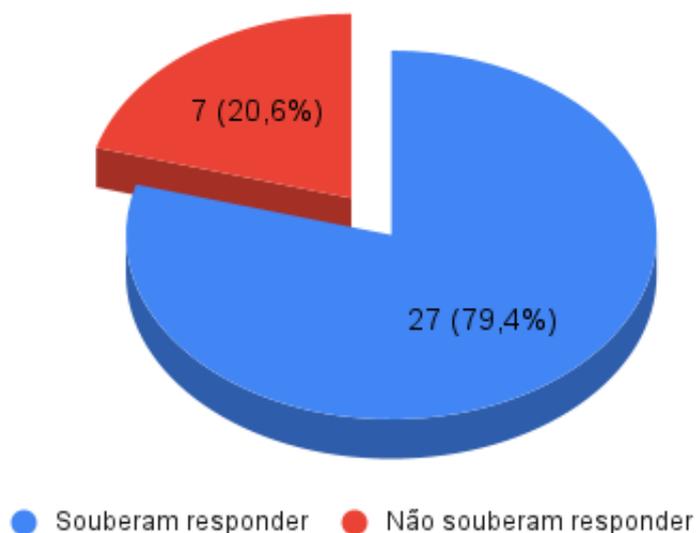
A quinta pergunta do questionário procurou saber de cada aluno qual é a reação que ocorre no interior de um reator nuclear para que se produza energia, quando se utiliza o Urânio.

- 79,4% souberam responder de forma coerente.
- 20,6% não souberam responder, incluindo-se neste percentual os que apresentaram resposta fora do contexto.

Esses gráficos estão apresentados na (Figura 25).

Figura 25 – Porcentagem de conhecimento com base na 5ª pergunta

Contagem de 5ª - Que reação acontece com o urânio dentro de um reator nuclear para que ele produza energia?



Fonte: criação do autor

A questão de número dez do uso dos simuladores também destacada como de grande importância, perguntou aos alunos quais eram suas sugestões e críticas para que assim possam ser melhorados alguns aspectos das aulas virtuais, com base nas informações coletadas obtive os seguintes resultados mostrado na (Figura 26).

No quesito de tecnologia digital, os alunos reconheceram que ainda falta muito para que os professores, de fato, utilizem esses recursos nas aulas. eles informaram que precisam explorar cada vez mais esses simuladores, principalmente aos que se aplicam a Física moderna e contemporânea. Alguns alunos informaram que preferem as aulas presenciais devido as dificuldades de aprendizado que eles possuem ocasionado por diversos fatores.

No encontro virtual de problematização ocorreu a distribuição dos problemas específicos - ABP em grupos, com os temas e participantes de acordo com a quantidade de alunos em conformidade com as seguintes tabelas por turmas:

Tabela 5 do 2º ano "A";

Tabela 7 do 3º ano "A";

Tabela 8 do 3º ano "B".

Foi repassado a cada grupo as orientações para as discussões:

Figura 26 – Tela do formulário com resposta de alguns alunos

10º - Você tem algum comentário, crítica ou sugestão para ajudar a melhorar algum aspecto dessas aulas virtuais?

.....

Não

caso você goste de aulas virtuais : eu acho muito bom, porque eu tive um desempenho melhor, tenho melhor concentração sou acostumado a utilizar a internet ,livro ,ou professor etc..

caso você não goste de aulas on-line: não gostei porque preciso de um apoio melhor para entender a atividade proposta, discussões... enfim a interação que tinha na escola. sem sugestões!

Não tenho não

Não.

Não

Por enquanto não

Fonte: Google Forms

- Primeiro momento eles deveriam formular e analisar o problema;
- Segundo momento estudo autodirigido;
- Terceiro momento problemas resolvidos e não resolvidos.

Conforme a participação de cada um dos grupos, verificou-se que todos que apresentaram seus seminários conseguiram atender cada uma das orientações passadas. Porém na avaliação de cada uma das turmas ocorreram grandes diferenças na qualidade das apresentações, participações e rendimentos como esquematizado na seguinte (Tabela 6).

Tabela 5 – Grupos do 2 ano A

TEMAS	GRUPOS
TEMA 01: IMPACTO DO LIXO RADIOATIVO NO MEIO AMBIENTE;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 02: TRANSPORTE E DESCARTE SEGURO DO LIXO RADIOATIVO;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 03: PAPEL DAS ARMAS NUCLEARES EM CONFLITOS POLÍTICOS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4 *
TEMA 04: AÇÃO DA FÍSICA NUCLEAR NO DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE DOENÇAS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * *
TEMA 05: VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR PARA A SOCIEDADE E O MEIO AMBIENTE.	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4

Fonte: Construção do autor.

Tabela 6 – Tabela de rendimento de cada turma

TURMAS	Qualidade das apresentações	Participações	Rendimentos	Conceitos
2 ANO A				Excelente
3 ANO A				Bom
3 ANO B				Regular

Fonte: Construção do autor.

Tabela 8 – Grupos do 3 ano B

TEMAS	GRUPOS
TEMA 01: IMPACTO DO LIXO RADIOATIVO NO MEIO AMBIENTE;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 02: TRANSPORTE E DESCARTE SEGURO DO LIXO RADIOATIVO;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 03: PAPEL DAS ARMAS NUCLEARES EM CONFLITOS POLÍTICOS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 04: AÇÃO DA FÍSICA NUCLEAR NO DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE DOENÇAS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 05: VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR PARA A SOCIEDADE E O MEIO AMBIENTE.	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4

Fonte: Construção do autor.

Tabela 7 – Grupos do 3 ano A

TEMAS	GRUPOS
TEMA 01: IMPACTO DO LIXO RADIOATIVO NO MEIO AMBIENTE;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 02: TRANSPORTE E DESCARTE SEGURO DO LIXO RADIOATIVO;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 03: PAPEL DAS ARMAS NUCLEARES EM CONFLITOS POLÍTICOS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4 *
TEMA 04: AÇÃO DA FÍSICA NUCLEAR NO DIAGNÓSTICO E TRATAMENTO DE DOENÇAS;	* Aluno 1 * Aluno 2 * Aluno 3 * Aluno 4
TEMA 05: VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR PARA A SOCIEDADE E O MEIO AMBIENTE.	* Aluno 1 * Aluno 2 * * *

Fonte: Construção do autor.

Em todo o decorrer das apresentações surgiram diversas dúvidas que foram resolvidas a medida que iam surgindo. Um dos diversos fatores que influenciaram o melhor desempenho de uns grupos em relação aos outros foram as participações ativas e qualitativas.

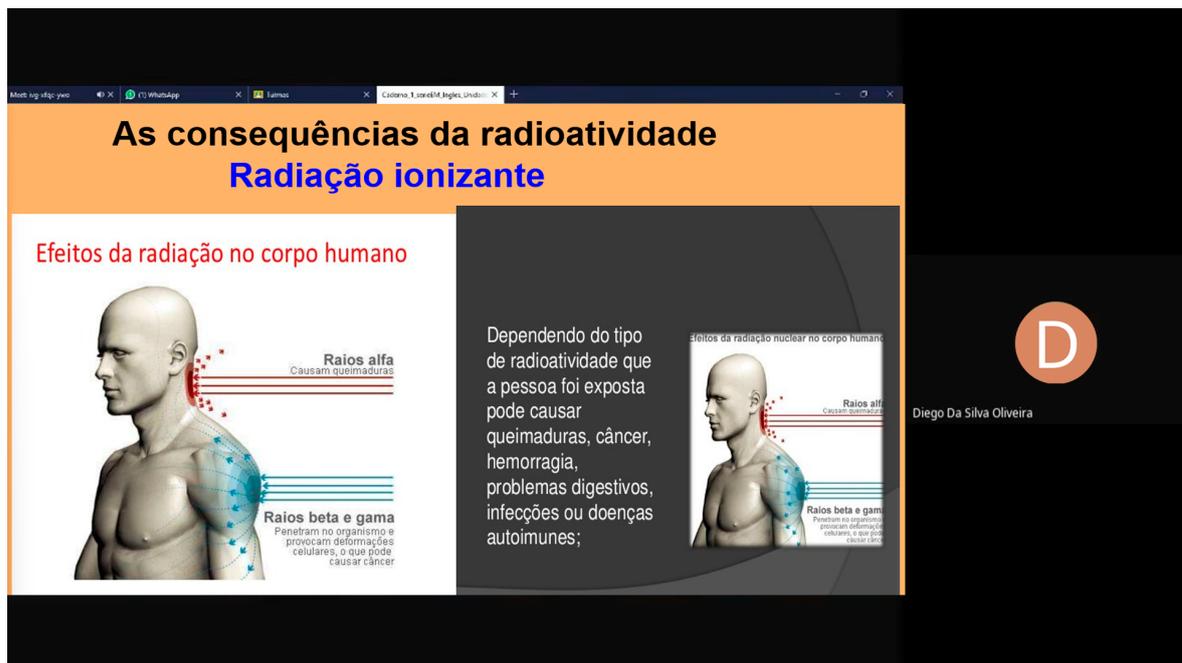
As dificuldades encontradas pelos alunos ocorreram principalmente pela falta de obtenção de internet e computador e nem todos possuíam celular, e mais de 60% dos alunos tiveram bastante dificuldade para apresentarem seus trabalhos influenciado por esses fatores. Os que não tiveram dificuldades em relação a esses obstáculos contribuirão para que as aulas se tornasse mais produtiva possível (Figura 27).

Para a produção das apresentações foram disponibilizados os materiais de apoio como os livros e artigos, e logo após a utilização dos mesmo foi solicitado o preenchimento do questionário exploratório no qual foram feitas nove perguntas. Apenas 8 alunos colaboraram com o preenchimento sendo apenas 3 alunos do 2º ano "A", 2 do 3º ano "B" e 2 do 3º ano "A".

A primeira pergunta consistia em saber o que eles acharam da indicação dos materiais, 7 alunos acharam legal ou ótimo e 1 achou bem complicado.

Na segunda pergunta eles classificaram entre bom, regular e ruim se os livros tinham ajudado 75% informaram que foi regular, 25% classificaram como bom segundo os dados coletados (Figura 28).

Figura 27 – Apresentação dos grupos

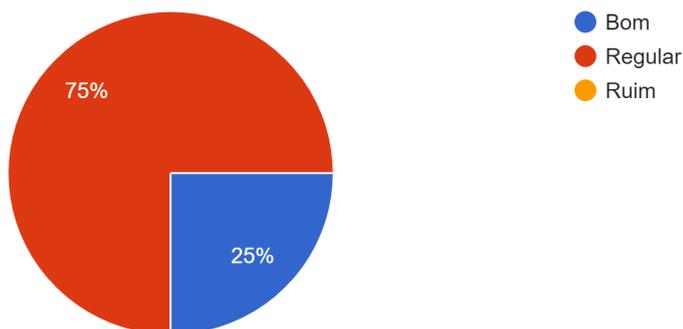


Fonte: Google Meet

Figura 28 – Pergunta de numero 2 do questionário exploratório dos livros

2º - Classifique se os livros indicados ajudaram você?

8 respostas



Fonte: Google forms

A terceira pergunta foi perguntado se os vídeos indicados contribuíram para o seu aprendizado? por que?. As respostas foram bem claras sem aprofundamentos mais todos informaram que ajudou de alguma forma (Tabela 9).

Tabela 9 – Pergunta de numero 3 do questionário exploratório dos livros

<b>Nome do Estudante:</b>	<b>Turma:</b>	<b>3° - Os vídeos indicados contribuíram para o seu aprendizado? por que?</b>
Aluno 1	3 ano B	Pq nois teremos mas conhecimento do assunto
Aluno 2	3 ano B	Sim. A importância é aspecto que não possuem recursos naturais para a obtenção de energia
Aluno 3	2 ano A	Sim , porque explicou passo-a- passo.
Aluno 4	2 ano A	Sim, sempre é bons ter novos conhecimentos .
Aluno 5	2 ano A	Não assistir,deveria?
Aluno 6	3 ano A	Sim muito porque muitas coisas que eu não entendia eu conseguir entende muito bem
Aluno 7	3 ano B	Sim Para Sabemos mais sobre o que acontece com as reações nucleares
Aluno 8	3 ano A	Sim por esclarecer algumas coisas

Fonte: Construção do autor.

Foi perguntado na quarta, qual será a maior dificuldade com base no tema proposto o qual o aluno fazia parte, observou-se que 80% de maneira superficial e sem detalhamentos achou muito complexo por está tendo contato pela primeira vez com esse assunto, os 20% informaram que a parte histórica do assunto.

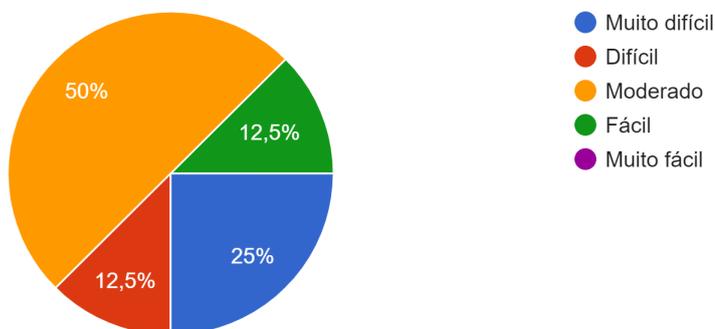
A quinta pergunta foi em relação o ponto de vista individual, qual será seu maior desafio em relação ao tema 50% acharam tudo muito complexo, 25% achou de fácil compreensão e 25% disse que tudo. Todas as respostas também não tiveram aprofundamento específicos em relação as perguntas.

Foi solicitado na sexta pergunta o nível de dificuldade encontrado ao explorar o tema, 50% consideraram moderado, 12,5% fácil, 25% difícil e 12,5% Muito difícil conforme apresentado na (Figura 29).

Figura 29 – Pergunta de numero 6 do questionário exploratório dos livros

6° - Avalie o nível de dificuldade encontrado ao explorar o tema.

8 respostas



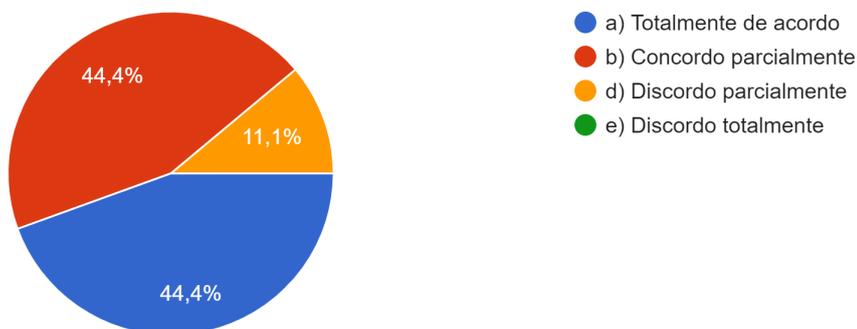
Fonte: Google forms

A sétima pergunta procurou saber qual foi a contribuição do tema para a vida pessoal de cada um dos alunos, todos informaram de maneira geral que esses temas fez com que eles refletissem a respeito das vantagens e desvantagens que a física nuclear trás para a sociedade.

Na oitava pergunta, pediu-se a opinião de cada aluno se eles concordavam que o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs - Computadores, Smartfones e Softwares Educacionais) deixam as aulas mais atrativas e empolgantes, quando comparadas às aulas tradicionais (sem o uso de TICs)?. 44,4% estavam totalmente de acordo, 44,4% concordaram parcialmente e 11,1% discordaram parcialmente conforme mostra a (Figura 30).

Figura 30 – Pergunta de numero 8 do questionário exploratório dos livros

8° - Você concorda que o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs - Computadores, Smartphones e Softwares Educacion...adas às aulas tradicionais (sem o uso de TICs)?  
9 respostas

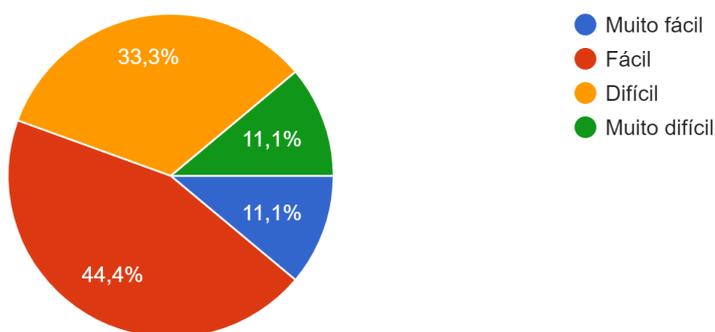


Fonte: Google forms

A nona pergunta consistia em cada aluno avaliar o quanto foi difícil utilizar os Objetos Digitais de Aprendizagem apresentados, 11,1% acharam muito fácil, 44,4% acharam fácil, 33,3% acharam difícil e 11,1% acharam muito difícil de acordo com a (Figura 31).

Figura 31 – Pergunta de numero 9 do questionário exploratório dos livros

9° - Avalie o quanto foi difícil utilizar Objetos Digitais de Aprendizagem apresentados.  
9 respostas



Fonte: Google forms

O encontro de sistematização ocorreu a construção coletiva do conhecimento, através das interações e compartilhamento dos conhecimentos adquiridos entre os grupos tutoriais,

ocorrendo o debate de encerramento onde foram reunidas as contribuições dos alunos em grupos. para a criação do mapa mental conforme é destacado na ( Figura 32 e 33 <sup>1</sup>).

---

<sup>1</sup> Segue link para visualizar o mapa direto no site <<https://www.goconqr.com/mindmap/1828798/f-sica-nuclear>>

Figura 32 – Mapa mental

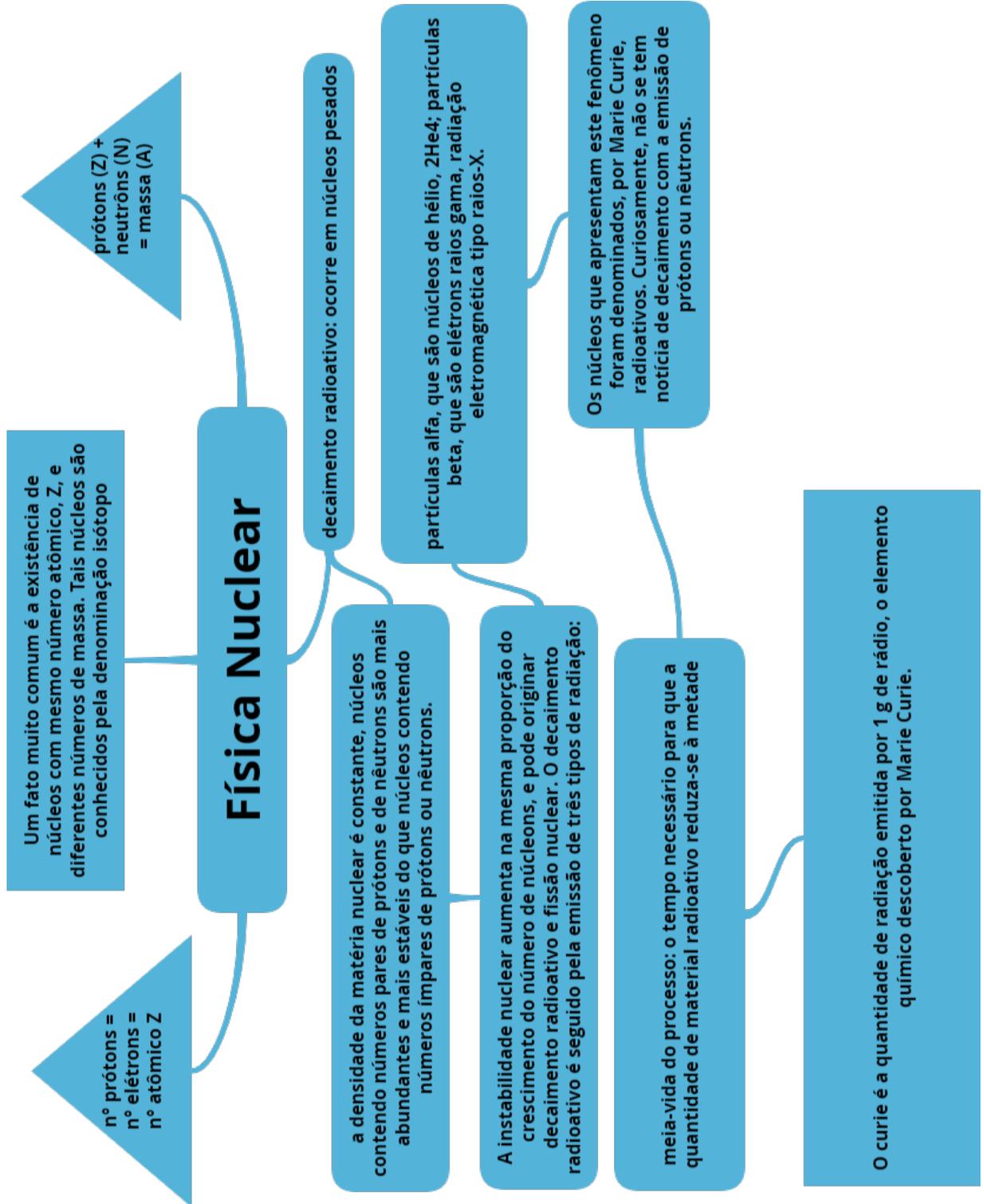
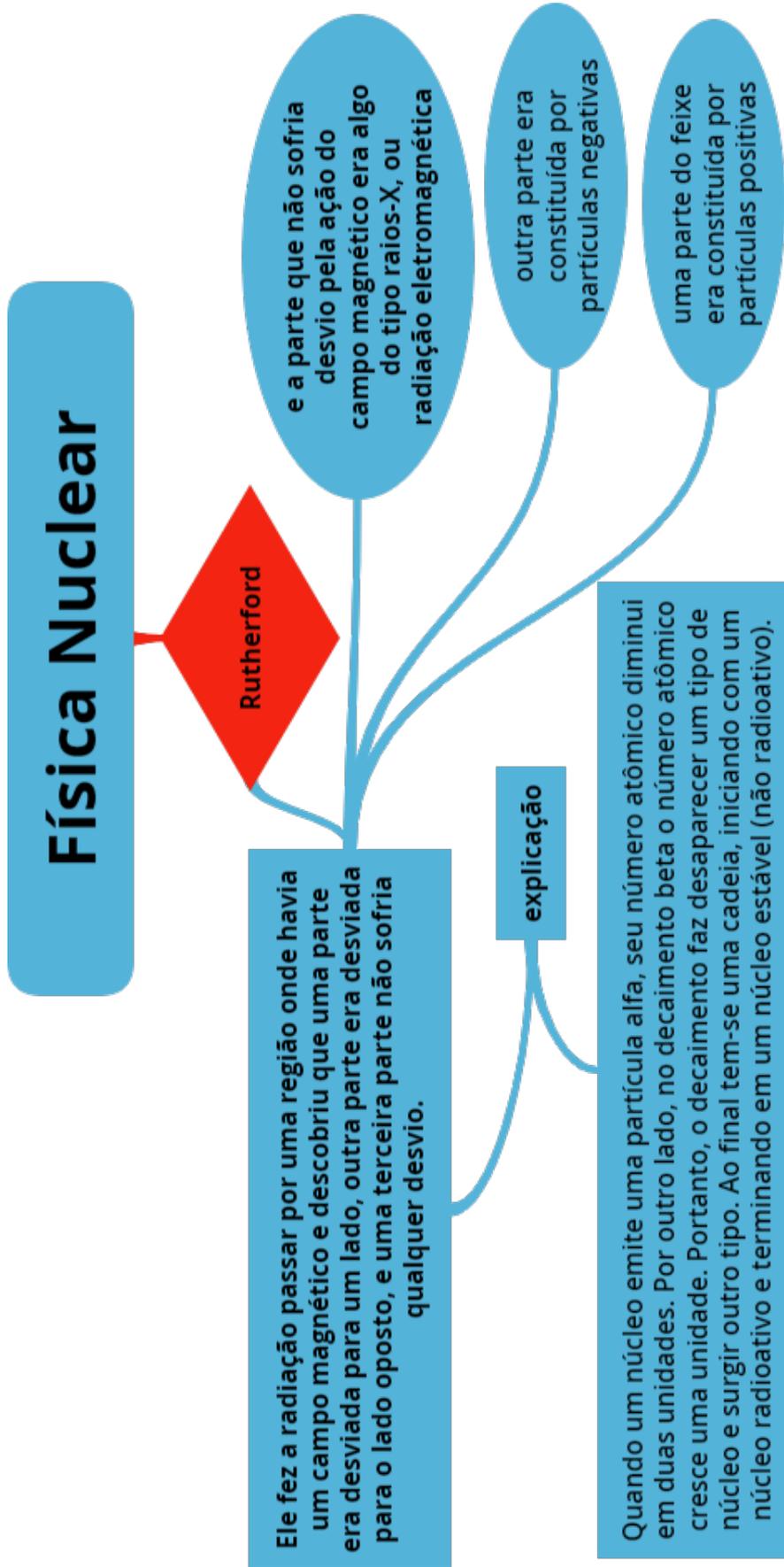


Figura 33 – Continuação do mapa mental



Fonte: Criação do autor

## 6 Considerações Finais

Os objetivos com este trabalho foram: a aplicação de uma sequência didática para o ensino de física, especificamente das propostas didáticas com a utilização de MA e ODA implementando a SAI, ABP e TDIC recentes voltadas à Física Nuclear.

Foi aplicada em uma escola de ensino médio, e acreditamos que ela tem potencial para atingir os objetivos a que se destina. Isso foi realizado no âmbito de uma disciplina de estágio não obrigatório do curso de Licenciatura em Física da UNIFESSPA. Nessa prática, foi possível sentir algumas das dificuldades que o docente enfrenta no seu dia a dia, e também os pontos positivos, da proposta didática aplicada no ambiente escolar. Destacamos que o engajamento dos alunos foi relevante, mas pequeno em relação à totalidade da sala principalmente por serem alunos do período noturno, e houve resistência perceptível em relação à leitura e participação nos grupos para debate dos temas propostos e, principalmente, à produção da resenha que foi solicitado no primeiro encontro virtual de preparação. É possível que, em uma atividade de longo prazo, fora de um contexto de estágio, em que os alunos tenham aulas com o professor da disciplina, a construção de um acordo que permita o aproveitamento mais completo da aplicação seja mais eficaz.

O presente trabalho se insere nesse contexto tanto na exploração de um tema particular e importante, como na utilização de metodologias que pensamos ser adequadas para o trabalho como meio de estimular o aprendizado da Física Quântica no Ensino Médio, sem a introdução das suas formulações matemáticas, mas de maneira que o aluno possa entender que essas formulações existem, explicam fatos da realidade, e que o seu estudo teve e tem consequências no cotidiano. As escolhas feitas dessas temáticas vem do entendimento de que a escola não tem como função a formação de cientistas, mas que deve oferecer aos alunos todas as bases para construir um conhecimento correto, preciso e bem embasado sobre a natureza das teorias científicas.

Além disso, afirmo que este trabalho foi realizado como requisito para a conclusão do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. Espero que o trabalho seja de interesse acadêmico aos pesquisadores da nossa universidade, assim como de outras.

# Referências

- ALMEIDA, M. E. B. d.; MORAN, J. M. Integração das tecnologias na educação. *Brasília: Ministério da Educação. Secretaria de Educação a Distância*, 2005. Citado na página 44.
- ALMEIDA, M. E. B. de; VALENTE, J. A. Integração currículo e tecnologias e a produção de narrativas digitais. *Currículo sem fronteiras*, v. 12, n. 3, p. 57–82, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- BACICH, L.; MORAN, J. *Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática*. [S.l.]: Penso Editora, 2018. Citado 3 vezes nas páginas 18, 23 e 44.
- BASSO; SALAME, R.; RAMOS, R. Direito ambiental e socioambientalismo ii. *XXVII CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI*, Porto Alegre - RS, p. 138–153, 2018. Citado na página 52.
- BERGMANN, J.; SAMS, A. Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem. *Rio de Janeiro: LTC*, v. 114, 2016. Citado na página 20.
- BERNINI, D. S. D. Uso das tics como ferramenta na prática com metodologias ativas. *PRÁTICAS INOVADORAS EM METODOLOGIAS ATIVAS*, p. 102, 2017. Citado na página 44.
- BRASIL, M. E. Ciências humanas e suas tecnologias. *Brasília: MEC*, 2006. Citado na página 16.
- CARDOSO, E. d. M. et al. Energia nuclear. *Rio de Janeiro*, v. 3, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 35.
- CARVALHO, A.; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de física no ensino médio e a formação de professores. *Estudos Avançados*, SciELO Brasil, v. 32, p. 43–55, 2018. Citado na página 44.
- COLL, C.; MONEREO, C. *Psicologia da Educação Virtual: Aprender e ensinar com as tecnologias da informação e da comunicação*. [S.l.]: Artmed Editora, 2010. Citado na página 22.
- COSTA, M. Simulações computacionais no ensino de física: revisão sistemática de publicações da área de ensino. comunicação. In: *Anais do XIV Congresso Nacional de Educação. Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PUCPR, Curitiba, Paraná*. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 56.
- COSTA, M. J. M. et al. Bibliotecas e repositórios de objetos de aprendizagem: potencialidades para o processo de aprendizagem. *Revista Tecnologias na Educação*, v. 9, n. 22, p. 1–16, 2017. Citado na página 20.
- DIAS, D. L. *Modelo Atômico de Rutherford*. Brasil Escola, <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-atomo-rutherford.htm>>, 2021. Citado na página 32.

- DOWNES, S. Learning objects: Resources for distance education worldwide. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, Athabasca University Press (AU Press), v. 2, n. 1, p. 1–35, 2001. Citado na página 20.
- DUARTE, S. d. Q. Um mundo livre de armas nucleares: aspiração e realidade. *Revista de Informação Legislativa: RIL*, Brasília, DF, v. 57, n. 225, v. 57, p. 11–21, 2020. Citado na página 53.
- EJZENBERG, W. Desarmamento nuclear. 2017. Citado na página 53.
- FILHO, G. F. de S. Simuladores computacionais para o ensino de física básica: uma discussão sobre produção e uso. 2010. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 56.
- FOGAÇA, J. *Fusão Nuclear*. Brasil escola, <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/fusao-nuclear.htm>>, 2020. Citado na página 41.
- FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa*. 46<sup>a</sup>. [S.l.]: editora paz e terra, Rio de Janeiro, RJ, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 7, 8, 19, 44 e 45.
- FRÖHLICH, B. Impactos ambientais do descarte dos resíduos sólidos dos serviços de saúde. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016. Citado na página 52.
- GAROTTI, H. As quatro forças fundamentais da natureza. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20032/Humberto/pagina1.html>. Acessado em, v. 18, 2018. Citado na página 26.
- GÓMEZ, Á. I. P. *Educação na era digital: a escola educativa*. [S.l.]: Penso Editora, 2015. Citado na página 22.
- HANDA, J. K.; SILVA, J. B. G. Objetos de aprendizagem (learning objects). *Boletim EAD–Unicamp*, v. 31, 2003. Citado na página 20.
- HELERBROCK, R. *Energia Nuclear*. Brasil escola, <<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/fisica-nuclear.htm>>, 2021. Citado na página 19.
- LOPES, R. A formação interdisciplinar dos professores de ciências da natureza para a integração curricular através da aprendizagem baseada em problemas. In: \_\_\_\_\_. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 53.
- LUEDERS, J. Um olhar para a sala de aula invertida: percepções dos professores da educação de jovens e adultos a distância. 2018. Citado na página 21.
- MAGALHÃES, L. *Modelo Atômico de Rutherford*. Toda Matéria, <<https://www.todamateria.com.br/modelo-atomico-de-rutherford/>>, 2020. Citado na página 31.
- MCDERMOTT, L. C. *Guest comment: How we teach and how students learn—A mismatch?* [S.l.]: American Association of Physics Teachers, 1993. Citado na página 16.
- MOREIRA, M. A. Física de partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica. *São Paulo: editora livraria da física*, v. 3, p. 4, 2011. Citado na página 45.
- MOTA, J. C. et al. Características e impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos: uma visão conceitual. *Águas Subterrâneas*, 2009. Citado na página 52.
- NETWORK, F. L. The four pillars of flip. 2014. Citado na página 21.

- NOEMI, D. *Entenda o que é a aprendizagem baseada em problemas. escolas disruptivas*, <<https://escolasdisruptivas.com.br/metodologias-inovadoras/entenda-o-que-e-a-aprendizagem-baseada-em-problemas/>>, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)*. [S.l.]: Editora Blucher, 2014. Citado na página 36.
- OLIVEIRA, S. M. V. d.; CARVALHO, R. P. d. et al. Aplicações da energia nuclear na saúde. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2017. Citado na página 53.
- PALANDI, J. et al. Física nuclear. *Universidade Federal de Santa Maria: Grupo de Ensino de Física*, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 29.
- PERUZZO, J. Física e energia nuclear. *São Paulo: Editora Livraria da Física*, 2012. Citado na página 40.
- PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 7–34, 1999. Citado na página 45.
- PORTAL, e. colunista. *O que são Objetos de Aprendizagem*. Portal educação, <<https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/informatica/o-que-sao-objetos-de-aprendizagem/29154>>, 2013. Citado na página 20.
- RAMOS, S. J. M. et al. Alfabetização científica no ensino de fissão e fusão nuclear para o ensino médio. *Volta Redonda*, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 35, 39, 40 e 43.
- RODRIGUES, C. S.; SPINASSE, J. F.; VOSGERAU, D. Sala de aula invertida: uma revisão sistemática. In: *XII CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. Anais... Santa Catarina: PUCPR*. [S.l.: s.n.], 2015. v. 26. Citado na página 20.
- SABINO, A. C. et al. A utilização do software maxima no ensino por investigação da evolução estelar utilizando simulação gráfica da fusão nuclear. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 41, 2019. Citado na página 42.
- SCHNEIDERS, I. O método da sala de aula invertida (flipped classroom). *Lajeado: ed. da UNIVATES*, 2018. Citado na página 21.
- SERWAY, R.; MACEDO, H. *Física 4: para cientistas e engenheiros com física moderna*. [S.l.]: Livros Técnicos e Científicos, 1996. 225 p. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 39.
- SILVA, A. R. de A. A proliferação das armas nucleares. *Revista da Escola de Guerra Naval*, Escola de Guerra Naval, Programa de Pos-Graduacuo em Estudos Maritimos, v. 10, p. 20, 2007. Citado na página 53.
- SILVA J. G.; ATAÍDE, A. R. P. Aprendizagem baseada em problemas como estratégia à sala de aula invertida: uma proposta para ensino de física. *Anais VI CONEDU*, Campina Grande, p. 1–12, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 44.
- STUDART, N. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n. 3, p. 1–24, 2019. Citado na página 44.

TORRES, P. M. da C. *Modelo Atômico de Rutherford*. Cola da Web, <<https://www.coladaweb.com/quimica/quimica-geral/modelo-atomico-rutherford>>, 2016. Citado na página 30.

VALÉRIO, M. et al. A sala de aula invertida na percepção de estudantes de uma universidade pública brasileira. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 4, n. 1, 2021. Citado na página 21.

VIEIRA, M. de F.; SILVA, C. M. S. da. A educação no contexto da pandemia de covid-19: uma revisão sistemática de literatura. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 28, p. 1013–1031, 2020. Citado na página 18.

WILEY, D. A. et al. Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. *The instructional use of learning objects*, v. 2830, n. 435, p. 1–35, 2000. Citado na página 44.

# APÊNDICE A – Trabalho submetido e aprovado no XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física

O Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) é um evento bienal promovido pela Sociedade Brasileira de Física (SBF). O XXIV SNEF, organizado pela Universidade Federal do ABC, foi realizado de forma remota no período de 19 a 30 de julho de 2021, consistindo em 3 etapas:

1. composta por sete webinários - gravados ou ao vivo - abertos ao público e transmitidos preferencialmente através do Canal do YouTube do (XXIV SNEF).
2. evento oficial com atividades concentradas (Palestras, Painéis, Mesas Virtuais etc.), incluindo apresentação de trabalhos (Trabalhos).
3. refere-se aos cinco webminicursos com temáticas relacionadas ao ensino de física.

O presente trabalho foi submetido e aceito para apresentação **Comunicação** na sessão CO04-04 - TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA no dia 22/07/2021 no(a) XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física no período de 19 a 30 de julho de 2021, Online. Conforme segue as (Figuras 34 e 35).

Figura 34 – Declaração de trabalho aceito

### Declaração

Declaramos que o trabalho **USO DE METODOLOGIAS ATIVAS E OBJETOS DIGITAIS DE APRENDIZAGEM NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE FENÔMENOS NUCLEARES** de autoria de **Samy S. S. Fernandes, Walcilene S. Lima, Caio F. R. Silva, Mateus G. Lima UNIFESSPA - PA - BRASIL** foi aceito para apresentação **Comunicação** na sessão **CO04-04 - TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA** no dia **22/07/2021** no(a) **XXIV Simpósio Nacional de Ensino de Física** no período de 19 a 30 de julho de 2021, Online.

Apresentador: **Samy S. S. Fernandes** (Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA/Faculdade de Física)  
Inscrição/Trabalho: **742/1**  
Autenticação: **302619**

São Paulo, 23 de novembro de 2021



Comitê Organizador  
XXIV SNEF

Figura 35 – Certificado de apresentação do trabalho



Fonte: Sociedade Brasileira de Física