



UNEB
UNIVERSIDADE DO
ESTADO DA BAHIA



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 60

Jorge Lucio Rodrigues das Dores

**Ensino da Interação Nuclear Fraca com Auxílio de Ferramentas de Inteligência
Artificial no Ensino Médio:**
Abordagem Baseada em pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky e
Aprendizagem Baseada em Equipes

Salvador
2026

Jorge Lucio Rodrigues das Dores

Ensino da Interação Nuclear Fraca com Auxílio de Ferramentas de Inteligência

Artificial no Ensino Médio:

Abordagem Baseada em pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky e

Aprendizagem Baseada em Equipes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Polo 60 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual do Estado da Bahia, como requisito final à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Jader Cristiano
Magalhães de Albuquerque

Salvador
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

FICHA CATALOGRÁFICA

Biblioteca Professor Edivaldo Machado Boaventura - UNEB - Campus I

Bibliotecária: Célia Maria da Costa - CRB-5/918

D965e Dores, Jorge Lucio Rodrigues das
Ensino da interação nuclear fraca com auxílio de ferramentas de inteligência artificial no ensino médio: abordagem baseada em pressupostos da teoria sociocultural de Vygotsky e aprendizagem baseada em equipes/ Jorge Lucio Rodrigues das Dores. – Salvador, 2026.

90 f. : il.

Orientador: Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque.
Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade do Estado da Bahia.
Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física - PROFFÍSICA, Campus I.20236.

Contém referências, apêndices e anexos.

1. Física (Ensino Médio) - Estudo e ensino–Porto Sauipe (Entre Rios, BA). 2. Física (Ensino Médio) – Aprendizagem Ativa.3. Professores de física – Formação – Porto Sauipe (Entre Rios, BA). 4. Professores de física - Prática de ensino. 5. Tecnologia educacional. 6. Ensino auxiliado por computador. 7. Trabalho de grupo na educação – Porto Sauipe (Entre Rios, BA).I. Albuquerque, Orientador: Jader Cristiano Magalhães de. II. Universidade do Estado da Bahia.Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Campus I. IV. Título.

CDD: 371.7334

Jorge Lucio Rodrigues das Dores

Ensino da Interação Nuclear Fraca com Auxílio de Ferramentas de Inteligência

Artificial no Ensino Médio:

Abordagem Baseada em pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky e
Aprendizagem Baseada em Equipes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Polo 60 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Estadual do Estado da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física

Aprovada em : 23/02/2026

Prof. Dr. Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque - Orientador
Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. José Vicente Cardoso Santos - Examinador 1
Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Franz Peter Alves Farias - Examinador 2
Universidade Estadual de Feira de Santana

Profa. Dra. Eliene Maria da Silva.- Examinadora 3
Universidade do Estado da Bahia

Salvador
2026

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA

Autorização Decreto nº 4237/86, D.O.U. 18/07/86. Reconhecimento: Portaria 908/95, D.O.U. 01/08/95

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS I - SALVADOR

DCET - CAMPUS I
Departamento de Ciências
Exatas e Terra




UNEB
UNIVERSIDADE DO
ESTADO DA BAHIA

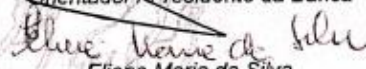
ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO JORGE LÚCIO RODRIGUES DAS DORES


Em 23 de fevereiro de 2026, às 14:15 horas, na sala FIL02 localizada no 1º andar do Pavilhão de Aulas Multidisciplinar (PAM) do Campus I (Salvador) da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), realizou-se, no formato híbrido, a Sessão Pública de Defesa da Dissertação do Mestrando **Jorge Lúcio Rodrigues das Dores**, intitulada **Proposta de Ensino da Interação Nuclear Fraca com Auxílio de Ferramentas de Inteligência Artificial no Ensino Médio: Abordagem Baseada em pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky e Aprendizagem Baseada em Equipes**. O Professor Dr. **Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque** (UNEB), orientador e Presidente da Banca Examinadora, iniciou a sessão apresentando os demais examinadores: Prof. Dr. **Franz Peter Alves Farias** (UEFS) e Prof. Dr. **José Vicente Cardoso Santos** (UNEB). A sessão teve a duração de 2h35min (duas horas e trinta e cinco minutos) e, após a exposição do trabalho e arguição do discente, a Banca emitiu o seguinte parecer:


CONCEITO		
APROVADO (X)	APROVADO COM RESTRIÇÃO ()	REPROVADO ()
NOTA/PARECER		
A banca reunida em 23 de fevereiro de 2026 deliberou pela APROVAÇÃO de Jorge Lúcio Rodrigues das Dores com nota 9,0 (nove inteiros). O mestrando terá 60 dias a partir de hoje para realizar os ajustes recomendados pela banca e proceder com a entrega do material definitivo.		

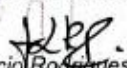
Salvador, 23 de fevereiro de 2026,


Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque
Orientador / Presidente da Banca


Eliene Maria da Silva
Membro da banca


Franz Peter Alves Farias
Membro da banca


José Vicente Cardoso Santos
Membro da banca


Jorge Lúcio Rodrigues das Dores
Mestrando

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos valorosos professores da rede estadual de ensino, cuja dedicação, resiliência e paixão pela educação moldam o futuro de uma nação. Vocês, que diariamente atravessam os portais das escolas públicas com a missão de transformar vidas através do conhecimento, enfrentando desafios imensos com coragem e determinação, são verdadeiros heróis sem capas.

Este estudo é um tributo ao incansável espírito de luta que vocês demonstram na busca por uma educação pública de qualidade, acessível a todos. Que cada página deste trabalho reflita o meu profundo respeito e admiração pela nobre arte de ensinar e pelo compromisso com a justiça social que cada um de vocês exemplifica.

Que possamos, juntos, continuar a sonhar e a construir um futuro onde a educação seja um pilar inabalável de nossa sociedade.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe adotiva Maria Arli e minha mãe biológica Vera Lucia, *in memoriam*, pelo amor, apoio e compreensão, pois sem isso eu não seria quem eu sou hoje.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque, pela paciência, compreensão e sensibilidade com minhas limitações e pela dedicação e apoio em construir esse projeto comigo. Sou grato por todos os encontros que foram verdadeiros momentos de aprendizado e reflexões.

À professora Rejane Maria Lira-da-Silva pela amizade, parceria e ensinamentos ao longo de 20 anos de convivência, os quais me ajudaram na minha formação profissional.

Ao meu filho Maicon por ser o responsável pela grande mudança em minha vida e por ser meu grande amigo nos momentos difíceis.

À minha companheira, amiga e amante, Cássia Menezes, que sempre com muito amor, carinho e paciência, apoia-me e incentiva-me na busca dos meus sonhos.

Aos meus colegas do MNPEF Polo 60, por realizarem contribuições cruciais para a construção do produto educacional.

Aos gestores da escola em que esse projeto foi aplicado, Cláudia Dantas Schramm e Cristóvão Melo Galvão, por apoiarem esse projeto pela crença de que essa proposta educacional seria propulsora para o interesse dos alunos no ensino de ciências.

À Universidade do Estado da Bahia e a Sociedade Brasileira de Física pela oportunidade de aprimoramento profissional.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - código de financiamento 001.

EPIGRAFE

“A autoridade do educador e as qualificações do professor não são a mesma coisa. Embora certa qualificação seja indispensável para a autoridade, a qualificação, por maior que seja, nunca engendra por si só autoridade. A qualificação do professor consiste em conhecer o mundo e ser capaz de instruir os outros acerca deste, porém sua autoridade se assenta na responsabilidade que ele assume por este mundo. (ARENDT, 1972, p. 239).”

RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo geral investigar a utilização da Aprendizagem Baseada em Equipes e ferramentas de Inteligência Artificial como potencializadoras do ensino da Interação Nuclear Fraca na 3ª série do Ensino Médio tendo como referencial teórico a Teoria Sociocultural de Vygotsky. Os objetivos específicos foram, construir tutoriais e materiais didáticos baseados em IA, planejar e implementar atividades individuais e em equipe sobre decaimento e interação fraca e comparar o desempenho dos estudantes nas etapas individual e colaborativa da Aprendizagem. O produto educacional desenvolvido inclui roteiro de criação de vídeos medidos por Inteligência Artificial e banco de materiais didáticos. O *locus* da pesquisa foi o Colégio Estadual Professora Ivaneck Maria Aguiar Costa, uma escola pública situada no Distrito de Porto Sauipe, localizado no litoral norte da Bahia, sendo o público-alvo uma turma do terceiro ano do ensino médio composta por quarenta e dois estudantes matriculados. Os resultados mostraram indícios de que o método utilizado ampliou a interação entre os estudantes, favoreceu a mediação social e possibilitou avanços conceituais, alinhando-se à noção de Zona de Desenvolvimento Proximal. A utilização do NotebookLM, ChatGPT e Spotify for Creator para a criação de material didático, à primeira vista pareceu ser um caminho viável utilizado para melhorar a compreensão dos conceitos do Modelo Padrão de Partículas Elementares, sem substituir o papel mediador do professor. Conclui-se que a integração entre Aprendizagem Baseada em Equipes e Inteligência Artificial constitui uma estratégia promissora para o ensino de Física na Educação Básica, promovendo maior engajamento, argumentação científica e aprendizagem.

Palavras-chave: Ensino de Física; Interação Nuclear Fraca; Inteligência Artificial; Aprendizagem Baseada em Equipes; Teoria Sociocultural de Vygotsky.

ABSTRACT

This dissertation aims to investigate the use of Team-Based Learning and Artificial Intelligence tools as enhancers of the teaching of the Weak Nuclear Interaction in the third year of high school, using Vygotsky's Sociocultural Theory as the theoretical framework.

The specific objectives were to develop tutorials and instructional materials based on Artificial Intelligence, to plan and implement individual and team-based activities on weak interaction and radioactive decay, and to compare students' performance in the individual and collaborative stages of the learning process.

The educational product developed includes a guide for the creation of AI-mediated videocasts and a repository of instructional materials. The research was conducted at Colégio Estadual Professora Ivaneck Maria Aguiar Costa, a public school located in the district of Porto Sauípe, on the northern coast of the state of Bahia, Brazil. The target audience was a third-year high school class composed of forty-two enrolled students.

The results showed evidence that the method increased interaction among students, promoted social mediation, and enabled conceptual advances, aligning with the notion of the Zone of Proximal Development. The use of NotebookLM, ChatGPT, and Spotify for Creators for the creation of instructional materials initially appeared to be a viable approach to improving the understanding of concepts related to the Standard Model of Elementary Particles, without replacing the teacher's mediating role.

It is concluded that the integration of Team-Based Learning and Artificial Intelligence constitutes a promising strategy for teaching Physics in Basic Education, promoting greater engagement, scientific argumentation, and learning.

Keywords: Physics Teaching; Weak Nuclear Interaction; Artificial Intelligence; Team-Based Learning; Vygotsky's Sociocultural Theory.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	A MINHA HISTÓRIA COM A DOCÊNCIA	17
1.2	O PROGRAMA E AS PRODUÇÕES ASSOCIADAS: DISSERTAÇÃO E PRODUTO EDUCACIONAL	18
1.3	CENÁRIOS E RAZÕES DA PESQUISA	20
1.3.1	Questão Norteadora	21
1.3.2	Motivação	21
1.3.3	Justificativa.....	21
1.3.4	Objetivo geral.....	22
1.3.5	Objetivos Específicos	22
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
2.	REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE	24
2.1	PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	24
2.1.1	Teoria Sociocultural de Vygotsky.....	25
2.1.2	Aprendizagem Baseda em Equipes.....	26
2.1.3	Inteligência Artificial.....	28
2.2	REVISÃO DE LITERATURA.....	29
2.2.1	Delimitação Temporal	31
2.2.2	Crítérios de inclusão e exclusão	32
2.2.2	Estado da Arte.....	37
3.	PRESSUPOSTOS DA FÍSICA	39
3.1	BREVE HISTÓRICO	40
3.1.2	O Conceito de Partícula e a Elementaridade	43
3.2	INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS	46
3.2.1	Interação Gravitacional	46

3.2.2 Interação Eletromagnética	46
3.2.3 Interação Nuclear Forte	47
3.2.4 Interação Nuclear Fraca	49
3.3 DECAIMENTO E MEIA-VIDA	50
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	59
4.1 DESCRIÇÃO DA PESQUISA APLICADA	61
5. O PRODUTO EDUCACIONAL	63
5.1 TUTORIAIS DAS FERRAMENTAS DE IA.....	64
5.2 APRENDIZAGEM BASEADA EM EQUIPES	68
5.3 A UTILIZAÇÃO DE PODCAST COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA.....	70
5.4 CONTRIBUIÇÕES DO PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA	70
6.RESULTADOS	72
6.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO EM SALA DE AULA	72
6.1.1 Tutorial	74
6.1.2 Planejamento e Implementação da ABE	76
7.CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
REFERÊNCIASBIBLIOGRÁFICAS	89
Apêndices	93
Apêndice A–Produto Educacional.....	93
1. INTRODUÇÃO	99
1.1. A IMPORTÂNCIA DA ABE NO ENSINO DE FÍSICA	100
1.2. A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO FERRAMENTA AUXILIAR	100
1.3. POR QUE INTEGRAR ABE E IA NO ENSINO DE FÍSICA?	100
2. TUTORIAIS CHATGPT, NOTEBOOKLM E SPOTIFY CREATOR.....	102
2.1 CHATGPT	102
2.1.1. Como criar a conta no chatgpt®	102

2.2 NOTEBOOKLM	104
2.2.1 Como criar uma conta no Notebooklm	104
2.3 CRIANDO UMA CONTA NO SPOTIFY CREATOR® (SPOTIFY FOR PODCASTERS)..	105
2.3.1 Como criar uma conta no Spotify for Podcasters	105
3. CONFECÇÃO DE VÍDEOS E PODCASTS	106
3.1. PREPARAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO	106
4. CRIAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO	111
4.1 CRIAÇÃO DE VÍDEOS E ÁUDIOS NO NOTEBOOKLM	111
4.2 CRIAÇÃO E POSTAGEM DO CONTEÚDO	116
5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO	124
5.1 PARTE 1: INTRODUÇÃO AO PROJETO "EM BUSCA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES"	124
5.2 PARTE 2: APLICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DA INTERAÇÃO FRACA E DECAIMENTO.....	128
5.3 Parte 3: Apresentação dos resultados e discussão.....	130
REFERÊNCIAS	132
Apêndice B: Ficha de Avaliação - ABE	135
Anexos	138
Anexo A-Termo de Cooperação.....	138
Anexo B-Folha de rosto da pesquisa	139

1. INTRODUÇÃO

Tecnologias Ativas em educação referem-se ao uso de ferramentas e métodos interativos que promovem a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. O papel do professor no processo de ensino que incorpora tecnologias ativas em educação é fundamental. Mesmo que as tecnologias tenham potencialidades para desenvolvimento do aprendizado, a atuação do professor como o mediador é essencial, pois ele é o responsável por integrar essas ferramentas de forma pedagógica, ética e estratégica.

O professor é autor e sujeito de sua prática pedagógica e para agir por meio tecnológico precisa inicialmente compreender as lógicas e os pressupostos desse novo modo de agir. Assim, pode de forma segura e confiante adaptar os processos à uma proposta de linguagem com diferentes produções de significados, adaptando-os às suas práticas pedagógicas (Sales, Santos, e Albuquerque, 2022).

Ao fazer uso de tecnologias ativas, a escola se tornou um importante local para promoção e participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, no qual a abordagem vai além do simples uso de tecnologia como ferramenta de ensino e envolve estratégias pedagógicas que estimulam a colaboração, a criatividade e a resolução de problemas. A escola é previsível demais, burocrática demais, pouco estimulante para os bons professores e alunos (Moran, Masseto e Behrens, 2013, p. 12).

Há diversas ferramentas que podem ser utilizadas como potencializadoras nesse novo ambiente escolar, como computadores, tablets, smartphones, softwares educacionais, aplicativos, plataformas online e recursos multimídia, que podem ser integradas ao cotidiano escolar de forma a apoiar as atividades de aprendizagem e proporcionar uma experiência mais interativa e engajadora para os estudantes, além de ajudar na formação de alunos criativos e proativos.

Abordagens como a aprendizagem baseada em equipes (ABE) e aprendizagem baseada em problemas (ABP) são exemplos de métodos em que os alunos trabalham em projetos e utilizam a tecnologia como uma ferramenta para pesquisar, colaborar e apresentar seus resultados. Além disso, as tecnologias ativas também podem facilitar a personalização do ensino, permitindo que os estudantes avancem em seu próprio ritmo e recebam feedback imediato sobre seu desempenho. No entanto, é importante ressaltar que a tecnologia por si só não garante uma educação ou ensino de qualidade. É fundamental que os docentes recebam

formação adequada para utilizar efetivamente as tecnologias ativas em sala de aula.

Nesse contexto, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contempla o desenvolvimento de competências e habilidades voltadas ao uso crítico e responsável das tecnologias digitais. Esse trabalho ocorre tanto de forma transversal, perpassando todas as áreas do conhecimento e manifestando-se em diversas competências, habilidades e objetos de aprendizagem, quanto de forma específica, voltada diretamente ao domínio dessas tecnologias. Dessa maneira, busca-se promover a compreensão, o uso e a criação de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) em diferentes práticas sociais, como ilustra a competência específica de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CN) para o Ensino Médio 3:

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (Brasil, 2018, p. 553).

O Documento Curricular Referencial da Bahia para o Ensino Médio (DCRB) traz em seu texto os eixos temáticos a serem desenvolvidos na 3ª série do ensino médio para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Quadro 1 - Competências gerais da BNCC para a área de Ciências da Natureza

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS – 3ª SÉRIE
COMPONENTES CURRICULARES: BIOLOGIA, FÍSICA E QUÍMICA
EIXOS TEMÁTICOS: • MATÉRIA E ENERGIA • VIDA, TERRA E COSMOS
COMPETÊNCIAS GERAIS DA BNCC
2. Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
4. Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

Fonte: Bahia (2022, p. 203).

As competências específicas da área de CN que possuem ligação com o conteúdo abordado nesta pesquisa são mostradas no quadro 2:

Quadro 2 - Competências específicas da área de CN

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS DA ÁREA
<p>C1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.</p>
<p>C2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.</p>
<p>C3. Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação.</p>

Fonte: Bahia (2022, p. 204).

No que se refere à Física, em específico ao tema deste trabalho que é Física Moderna e Contemporânea (FMC) e Modelo Padrão de Partículas Elementares (MPPE), as habilidades relacionadas às competências C1, C2 e C3 são listadas no quadro 3.

Quadro 3 - Habilidades relacionadas às competências

HABILIDADES RELACIONADAS ÀS COMPETÊNCIAS
C1
(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.
C2
(EM13CNT205) Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências.
C3
(EM13CNT302) Comunicar para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação, de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas

científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental.

Fonte: Bahia (2022, p. 204 e 205).

1.1 A MINHA HISTÓRIA COM A DOCÊNCIA

Minha trajetória docente se inicia em 2005, ano em que concluo a Licenciatura em Física pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Ainda naquele período, já atuava intensamente no Projeto Social de Educação, Vocação e Divulga o Científica Ciência, Arte & Magia, iniciativa que marcou profundamente minha forma o como educador. Integrar esse projeto significou ter contato direto com práticas de ensino não formal, divulga o científica e metodologias que aproximavam, de maneira lúdica e crítica, estudantes da ciência. Atuei como integrante da comissão científica do Encontro de Jovens Cientistas e, posteriormente, como membro do corpo editorial da Revista Jovens Cientistas, experiências que fortaleceram meu entendimento da educa o como prática social transformadora e da ciência como linguagem acessível e culturalmente situada.

Em 2007, após aprova o em concurso público da Secretaria de Educa o do Estado da Bahia, iniciei minha carreira docente no Colégio Estadual Odorico Tavares, em Salvador. Esse primeiro período como professor da rede pública marcou minha inser o profissional e consolidou o compromisso com uma educa o científica de qualidade, centrada no diálogo entre teoria, prática e realidade social dos estudantes. A partir de 2011, já com uma trajetória ampliada em projetos de inicia o científica e extensão, solicitei transferência para o Colégio Estadual Edvaldo Brandão Correia, onde permaneci até 2021. Nesse ambiente escolar, aprofundei minha atua o na experimenta o, no desenvolvimento de projetos investigativos e na orienta o de jovens pesquisadores, articulando forma o científica e protagonismo estudantil.

Em 2021, ingressei no Colégio Militar de Salvador, ampliando minha experiência em contextos institucionais distintos e enriquecendo minha compreensão sobre culturas escolares, políticas educacionais e a necessária adapta o metodológica aos diferentes públicos. Em seguida, passei a atuar no Colégio Estadual de Tempo Integral Professora Ivaneck Maria Aguiar Costa (CEPIMAC), onde estou atualmente. No CEPIMAC, reencontrei desafios que exigem um olhar sensível às realidades territoriais, às trajetórias dos estudantes e às potencialidades das metodologias ativas e da inclusão digital, elementos que hoje fundamentam minhas práticas.

Ao longo de toda essa caminhada, a convivência com estudantes de diferentes

contextos, a participação em projetos de extensão e iniciação científica, e o engajamento contínuo com a divulgação científica moldaram uma concepção de docência que ultrapassa a sala de aula. Minha atuação se sustenta em princípios socioculturais, especialmente no diálogo, na colaboração e na mediação ativa do conhecimento. Essa história, marcada por diversos espaços educativos, delinea a identidade profissional que sustenta a presente dissertação e a proposta de ensino da interação nuclear fraca mediada pela Aprendizagem Baseada em Equipes e ferramentas de Inteligência Artificial.

1.2 O PROGRAMA E AS PRODUÇÕES ASSOCIADAS: DISSERTAÇÃO E PRODUTO EDUCACIONAL

A partir de 2022, minha trajetória acadêmica e profissional ganha um movimento mais sistemático de produção intelectual vinculada diretamente ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF/UNEB-Polo 60). Este período marca a consolidação de um conjunto de ações, eventos, publicações e experiências que fundamentam epistemologicamente e metodologicamente tanto a dissertação quanto o produto educacional resultante.

Em 2022, ampliei minha atuação com publicações na Revista Jovens Cientistas, abordando temas como astrofísica, divulgação científica e experimentação. Essas produções reforçaram o compromisso com uma comunicação científica acessível e contextualizada, princípio que se articula à proposta de ensino apresentada na dissertação.

No ano de 2023, publiquei, em coautoria com o professor Jader Cristiano, o artigo “Uso da Inteligência Artificial no Ensino de Física: Potencialidades e Desafios”, na Revista Caminhos da Educação, texto que serviu como validação preliminar dos fundamentos teórico-metodológicos que orientam este trabalho. Essa publicação contribuiu para o desenvolvimento das análises que integram o presente estudo, sobretudo no que se refere à articulação entre metodologias ativas e tecnologias digitais no ensino de Física.

Em 2023, também apresentei o pôster The Particle Adventure: um jogo de aventura sobre partículas para o 3º ano do Ensino Médio no XXXVII Encontro de Física do Norte e Nordeste, o que reforçou meu percurso de investigação no ensino de Física Moderna por meio de jogos e estratégias lúdico-investigativas.

Em 2024, aprofundei minhas discussões sobre cultura digital e inteligência artificial aplicadas à educação ao participar do VII Seminário Internacional ForTEC, com a temática “Cultura Digital e Inteligência Artificial na Educação: interfaces, alcances e entraves”,

promovido pelo PPGEduc/UNEB, com carga horária de 24h. Essa participação contribuiu significativamente para o amadurecimento da reflexão crítica sobre o papel das tecnologias emergentes na prática docente contemporânea e no desenvolvimento da presente pesquisa.

Ainda em 2024, tive um trabalho aprovado no V Colóquio Internacional de Pesquisa Aplicada em Educação (COINPAE), promovido pela UNEB. O resumo expandido “Utilização de inteligência artificial como potencializadora da mediação do processo de ensino e aprendizagem: aplicações para o ensino de Modelo Padrão de Partículas para a 3ª série do Ensino Médio” foi selecionado para apresentação no evento, evidenciando o alinhamento da pesquisa às discussões científicas contemporâneas e fortalecendo a relevância do tema no panorama da inovação educacional.

Em 2025, o trabalho “A Teoria de Vygotsky e a Aprendizagem Baseada em Equipe: uma sequência didática para o ensino do Modelo Padrão na 3ª série do Ensino Médio” foi aceito para apresentação no IV Encontro Nacional do MNPEF, a ser realizado em Fortaleza, entre 23 e 26 de julho de 2025. A aceitação desse estudo demonstra o reconhecimento da proposta no âmbito nacional e reforça o diálogo da pesquisa com as discussões atuais sobre metodologias ativas, aprendizagem colaborativa e ensino de Física Moderna.

Por fim, a minha participação na Escola Sirius para Professores do Ensino Médio (ESPEM), organizada pelo Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) e pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), realizada entre 12 e 17 de janeiro de 2026, situa a presente pesquisa no contexto de formação docente avançada em temas de fronteira da Física Contemporânea. Esse evento integra discussões sobre aceleradores de partículas, difração, técnicas experimentais e educação científica de ponta, ampliando o horizonte de pesquisa e prática da proposta didática aqui desenvolvida.

Assim, o conjunto de produções, eventos, publicações e formações entre 2022 e 2025 constitui o alicerce do Produto Educacional apresentado, uma proposta de ensino da Interação Nuclear Fraca, fundamentada na Aprendizagem Baseada em Equipes e integrada ao uso pedagógico de ferramentas de Inteligência Artificial, tendo como referencial teórico a Teoria Sociocultural de Vygotsky. Este produto sintetiza, portanto, uma trajetória acadêmica coerente com a proposta do MNPEF.

1.3 CENÁRIOS E RAZÕES DA PESQUISA

Moreira (2014) entende que na educação dialógica, estudar requer apropriação da significação dos conteúdos, a busca de relações entre os conteúdos e entre eles e aspectos históricos, sociais e culturais do conhecimento. Requer também que o educando se assume como sujeito do ato de estudar e adote uma postura crítica e sistemática (Moreira, 2014, p.4). No mesmo caminho, Moreira (2021) diz que:

No ensino da Física, voltado à aprendizagem significativa crítica, os alunos devem participar ativamente, os materiais instrucionais devem ser diversificados, o questionamento deve ser estimulado, o conhecimento científico deve ser tratado como uma construção humana sempre em desenvolvimento, com consciência semântica (o significado está nas pessoas, não em objetos ou eventos). Uma aprendizagem para a vida, para a cidadania, não aquela tradicional que só serve para usar nas provas (Moreira, 2021).

Tendo em vista estas reflexões, entende-se que a inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio enfrenta desafios no contexto do século XXI, exigindo estratégias didáticas inovadoras. Ao integrar a Inteligência Artificial em sequências didáticas baseadas em metodologias ativas, torna-se possível desenvolver simulações e abordagens interativas a partir de artigos científicos, sites institucionais e livros. Essa integração favorece o acesso dos estudantes a conteúdos científicos de forma mais segura, confiável e dinâmica, ampliando as possibilidades de investigação e aprendizagem. Entretanto, é fundamental que os estudantes sejam orientados quanto às dimensões éticas relacionadas ao uso dessas tecnologias, incluindo aspectos como a privacidade de dados, o uso responsável das ferramentas digitais e o desenvolvimento do pensamento crítico diante das informações produzidas pela IA. Essa reflexão sobre ética e análise das respostas geradas é cada vez mais importante em um contexto onde a dependência de ferramentas tecnológicas cresce rapidamente, neste ponto a presença do professor como um mediador deste processo é imprescindível. Além disso, o ensino de Física de Partículas Elementares no Ensino Médio, à luz da BNCC, exige que o professor trabalhe de forma integrada, conectando o conteúdo às competências gerais da educação no atual cenário social, como a resolução de problemas, o uso de tecnologias e o desenvolvimento de habilidades críticas e socioemocionais, logo, a utilização de tecnologias ativas como a ABE pode contribuir para um ambiente propício de argumentação e de contato com diferentes percepções, conduzindo a um melhor entendimento dos conteúdos abordados. Mas vale ressaltar, a BNCC apresenta desafios ao ensino de física por demandar uma abordagem mais contextualizada e interdisciplinar, o que requer dos

professores uma reflexão de suas práticas.

A utilização da IA pode ajudar a superar alguns desafios, proporcionando flexibilidade e adaptando os conteúdos às necessidades dos alunos. No entanto, isso deve ser feito dentro de uma abordagem por competências, como propõe Zabala (2010), no qual o foco está não apenas no conteúdo, mas também nas habilidades cognitivas e práticas, como a capacidade de trabalhar colaborativamente, resolver problemas e tomar decisões informadas.

1.3.1 Questão Norteadora

A metodologia ativa Aprendizagem Baseada em Equipes aliada à Inteligência Artificial pode contribuir para o ensino da Interação Nuclear Fraca, promovendo uma aprendizagem colaborativa no contexto do Ensino Médio?

1.3.2 Motivação

Ao considerar uma escola de ensino médio situada na zona rural, é essencial valorizar a diversidade dos percursos cognitivos dos estudantes, promovendo um ambiente em que o trabalho em equipe não apenas favoreça a construção coletiva, mas também estimule a autonomia e o protagonismo dos estudantes. Nesse contexto, a fala de Silva (2016) serve como base para a motivação deste trabalho:

Por isso, tomei a ciência como uma larga estrada, entendendo que não existe um único caminho a percorrer para sistematizar os conhecimentos existentes no senso comum, na vida cotidiana ou na academia. São muitas as opções que podemos utilizar para compreender determinada realidade, seja econômica, social, política, histórica educacional, dentre outras (Silva, 2016, p. 35).

Dessa forma, o ensino do Modelo Padrão de Partículas Elementares, em especial das interações nucleares devido a abstração conceitual e a limitação de recursos experimentais tornam o aprendizadodesafiador. Além disso, o atual cenário demanda práticas pedagógicas que dialoguem com as competências da BNCC e que incorporem as tecnologias digitais como aliadas no processo de ensino e aprendizagem. Diante desta questão, a proposta desta dissertação é buscar ressignificar a prática pedagógica, utilizando a ABE e a IA como instrumentos de promoção de um ambiente de aprendizagem ativo e cooperativo.

1.3.3 Justificativa

A proposta fundamenta-se na Teoria Sociocultural de Vygotsky (2001), que defende a

aprendizagem como processo mediado socialmente, no qual a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é ampliada por meio da interação com os pares e com ferramentas culturais, como a linguagem e, neste caso, a IA

A Inteligência Artificial, nesse contexto, não substitui o professor, mas se insere como ferramenta auxiliar no processo de investigação e expressão, ampliando as possibilidades de ensino e aprendizagem.

1.3.4 Objetivo geral

Investigar a utilização da Aprendizagem Baseada em Equipes e ferramentas de Inteligência Artificial como potencializadoras do ensino da Interação Nuclear Fraca na 3ª série do Ensino Médio tendo como referencial teórico a Teoria Sociocultural de Vygotsky.

1.3.5 Objetivos Específicos

- i. Construir um tutorial detalhado e um conjunto de materiais didáticos baseados em IA para apoiar o ensino da Interação Nuclear Fraca.
- ii. Planejar e implementar atividades com etapas individuais e em equipe voltadas aos conceitos da Interação Nuclear Fraca e do decaimento.
- iii. Comparar o desempenho dos estudantes tanto individualmente quanto em grupo na apreensão dos conceitos da Interação Nuclear Fraca.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura desta dissertação foi moldada de acordo com as normas estabelecidas pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), conforme delineado nos parágrafos seguintes.

No capítulo 1 é apresentado a trajetória acadêmica e o percurso do autor dentro do MNPEF, as diretrizes da dissertação, as motivações que levaram à pesquisa, seguidas pela formulação da questão norteadora e pela justificativa, que dão suporte teórico ao estudo. Em seguida, são apresentados os objetivos gerais e específicos, delimitando as metas a serem alcançadas tanto na dissertação quanto no produto educacional.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico, estado da arte e fundamentação teórica que embasa a proposta educacional. Primeiramente, aborda a teoria sociocultural de Vygotsky, destacando a importância da ZDP e do papel do professor como mediador na

aprendizagem. Além disso, o uso da Inteligência Artificial é explorado como recurso mediador de aprendizagem, alinhando-se aos pressupostos da teoria vygotskiana e às abordagens contemporâneas de ensino com tecnologia. A IA é tratada não como substituta do educador, mas como instrumento de apoio ao desenvolvimento da autonomia e à investigação científica dos estudantes. Por fim, é realizada uma revisão sistemática da literatura, apresentando o estado da arte das pesquisas sobre ensino de Modelo Padrão de Partículas Elementares com metodologias ativas e tecnologias digitais. Essa análise atualizada fundamenta a proposta do produto educacional.

O capítulo 3 é dedicado aos fundamentos conceituais do MPPE, com foco na Interação Nuclear Fraca, que é o objeto da proposta de ensino deste projeto de pesquisa. São discutidos os conceitos matemáticos e físicos necessários à compreensão do tema, da estrutura e da Interação Nuclear Fraca.

O capítulo 4 foca na metodologia, nela é feita uma introdução ao tipo de pesquisa aplicada, sendo feita uma descrição do problema que o produto educacional visa solucionar, introduzindo a questão norteadora que orienta sua aplicação e as hipóteses. São explicitados também os objetivos gerais e específicos da intervenção, que fundamentam o trabalho, além de descrever a proposta de intervenção elaborada para o produto educacional, explicando o raciocínio por trás de sua criação e os métodos adotados.

O capítulo 5 trata do desenvolvimento e aplicação do produto educacional, detalhando cada etapa do processo e o contexto de sua implementação. São apresentadas as características da escola onde o produto foi aplicado e os instrumentos utilizados na coleta de dados, bem como os procedimentos empregados para garantir a confiabilidade e validade das informações obtidas.

O capítulo 6 é dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos com a aplicação do produto educacional, oferecendo uma análise detalhada e reflexiva sobre as descobertas da pesquisa.

No capítulo 7 são desenvolvidas as considerações finais. Ele é dedicado ao encerramento do trabalho, com uma reflexão sobre os objetivos alcançados, as contribuições deixadas e as perspectivas para futuras pesquisas. Discute-se o legado deixado pela pesquisa, destacando as principais contribuições e implicações teóricas e práticas que o trabalho trouxe para a área de estudo. Busca-se evidenciar o impacto do produto educacional e os benefícios obtidos, bem como em apresentar as possíveis inovações metodológicas e pedagógicas introduzidas. Por fim, são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E ESTADO DA ARTE

Vygotsky (2009), por meio de sua Teoria Sociocultural, oferece o alicerce para compreender o papel da mediação social no processo de aprendizagem. O conceito de ZDP é central neste contexto, pois define o espaço entre o que o estudante consegue realizar sozinho e aquilo que pode alcançar com a ajuda de alguém mais experiente, seja um professor, tutor ou colega. Este conceito justifica a adoção da aprendizagem em equipe como estratégia pedagógica eficaz, pois pode promover a construção conjunta do conhecimento, ancorada na linguagem, na interação e na colaboração.

O método da Aprendizagem Baseada em Equipes, desenvolvida por Michaelsen (2002), serve como a espinha dorsal da proposta metodológica desta dissertação. Sua abordagem tem como finalidade promover o engajamento dos estudantes, incentivando a responsabilidade individual e coletiva, o desenvolvimento de habilidades de comunicação, resolução de problemas e tomada de decisões em equipe. A ABE pode permitir que os conceitos da Física Moderna e Contemporânea sejam aplicados em contextos reais e desafiadores, favorecendo o ensino de conteúdos complexos.

Quadro 4 – Quadro-Resumo do Referencial Teórico

Autor	Obra	Conceitos-Chave	Aplicação na Dissertação
Lev Vygotsky	A Formação Social da Mente	Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP); mediação sociocultural	Fundamenta o papel do professor como mediador e a aprendizagem colaborativa no contexto da ABE.
Lev Vygotsky	Pensamento e Linguagem	Interrelação entre pensamento e linguagem	Roda de conceitos: do cotidiano ao científico; Escrita colaborativa; Debate guiado

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor (2024).

2.1 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Este capítulo apresenta os pressupostos teóricos que embasam a proposta desta dissertação, dialogando com a teoria sociocultural de Vygotsky e os princípios da Aprendizagem Baseada em Equipes. Também se discute o papel das tecnologias digitais na educação contemporânea, destacando o uso de IA como ferramenta mediadora no processo de ensino e aprendizagem. Neste contexto, são incorporadas as reflexões propostas por Alves e Moreira (2017), que defendem uma abordagem crítica e integrada das tecnologias, pautada no protagonismo dos estudantes e na mediação pedagógica significativa.

2.1.1 Teoria Sociocultural de Vygotsky

A Teoria Sociocultural de Vygotsky representa um marco teórico fundamental na compreensão do processo de ensino e aprendizagem, ao destacar o papel mediador da interação social e da cultura na formação das funções psicológicas superiores. Para o autor, “toda função no desenvolvimento cultural da criança aparece duas vezes: primeiro, no nível social, e depois, no nível individual; primeiro, entre pessoas (interpsicológica) e, depois, no interior da criança (intrapsicológica)” (Vygotsky, 2009, p. 112).

Um dos conceitos centrais dessa teoria é o de Zona de Desenvolvimento Proximal, definida como a distância entre o nível de desenvolvimento real, determinado pela capacidade de resolver independentemente um problema, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da resolução de um problema sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (Vygotsky, 2009, p. 97). Esse conceito desloca o foco da aprendizagem de habilidades já consolidadas para aquelas em processo de formação, propondo uma pedagogia voltada ao potencial de desenvolvimento do estudante.

Além disso, a linguagem desempenha um papel estruturante na constituição do pensamento. Vygotsky argumenta que a palavra atua como meio da atividade de formação do pensamento (Vygotsky, 2001, p. 89), enfatizando sua dupla função: instrumento de comunicação social e, posteriormente, de organização interna do pensamento por meio da linguagem interior.

A aprendizagem escolar, nesse contexto, assume um papel transformador. Vygotsky (2009) a denomina de desenvolvimento artificial, no qual a escola deve ser compreendida como um meio de reorganização das funções psicológicas, ao possibilitar a apropriação de instrumentos culturais complexos, como os conceitos científicos. Isso implica que “a educação não se limita somente ao fato de influenciar o processo de desenvolvimento, mas ela reestrutura de maneira fundamental todas as funções do comportamento” (Vygotsky, 2009, p. 24).

Dessa maneira, a prática pedagógica baseada na teoria sociocultural deve reconhecer a aprendizagem como um processo dialógico, cooperativo e mediado culturalmente, no qual o professor atua como mediador e os pares como coautores da construção do conhecimento. Tal abordagem, ao valorizar a interação e a mediação, encontra alinhamento com metodologias ativas como a Aprendizagem Baseada em Equipe, que potencializa a ZDP ao promover a colaboração entre estudantes com diferentes níveis de domínio conceitual.

2.1.2 Aprendizagem Baseada em Equipes

Segundo Krug *et al.* (2016, p. 603) a ABE é uma estratégia educacional constituída por um conjunto de práticas sequenciadas de ensino-aprendizagem.

A metodologia ativa ABE tem como foco melhorar a aprendizagem a partir de um conjunto de tarefas e atividades que coloca o aluno como responsável por adquirir conhecimentos, além de proporcionar o desenvolvimento de várias competências como tomada de decisão, trabalho colaborativo em equipe, raciocínio crítico, entre outras (Krug *et al.*, 2016, p. 609).

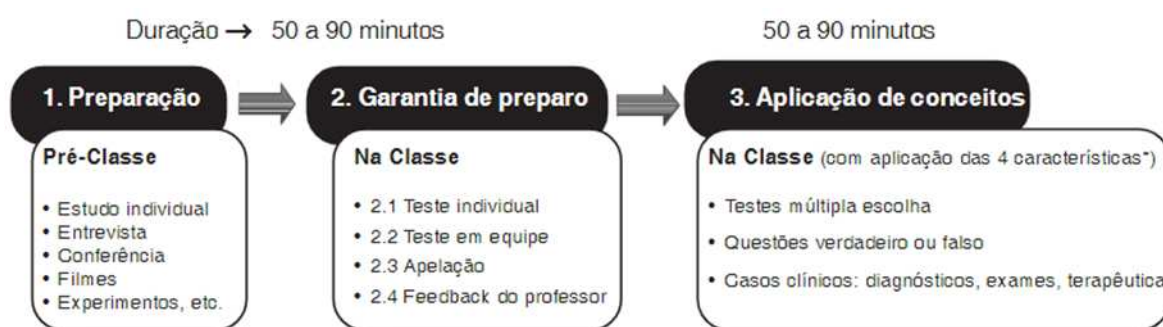
A ruptura com o modelo de ensino tradicional foi apresentada como ponto positivo, configurando alternativa para a superação do modelo tradicional e a abertura da possibilidade de novas práticas e significados no processo de ensino-aprendizagem. (Paiva *et al.*, 2016, p. 151).

Para Bollela *et al.* (2014, p. 294) a ABE tem sua fundamentação teórica baseada no construtivismo, em que o professor se torna um facilitador para a aprendizagem em um ambiente despido de autoritarismo e que privilegia a igualdade.

O conteúdo de Física de Partículas é abstrato e complexo, não sendo possível a representação através de experimentos simples bem como a explanação nos livros didáticos ser de difícil entendimento. A abordagem utilizando ABE pode ser um caminho viável para melhor compreensão dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea, pois a aula meramente expositiva dará lugar a um espaço de diálogo, discussão e pesquisa coletiva, sendo possível para o professor analisar as dúvidas de forma mais ampla.

A sequência de atividades que incluem etapas prévias ao encontro com o professor e aquelas por ele acompanhadas estão discriminadas na Figura 2:

Figura 1. Etapas da ABE e sua duração aproximada



Fonte: Bollela (2014).

A Aprendizagem Baseada em Equipes tem se mostrado uma ferramenta pedagógica promissora nas mais diversas realidades ao redor do mundo, estimulando o autoaprendizado do aluno e potencializando a habilidade de trabalhar em equipe. (Albuquerque; Caldato; Botelho, 2021, p. 11).

O marco epistemológico da ABE está enraizado no construtivismo, uma teoria do conhecimento que sustenta que os indivíduos constroem ativamente o seu próprio entendimento do mundo a partir de experiências e interações sociais. O construtivismo se manifesta na forma como o aprendizado é visto dentro de um processo colaborativo, no qual o conhecimento não é simplesmente transmitido pelo professor, mas construído pelos alunos em interação com seus pares.

Essa abordagem enfatiza que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando os estudantes estão ativamente envolvidos na resolução de problemas reais e no compartilhamento de conhecimentos e habilidades dentro de um grupo. A teoria da Aprendizagem Baseada em Equipes também enfatiza a importância do feedback e da aplicação prática como elementos que favorecem a consolidação da aprendizagem. No entanto, isso não significa que a aprendizagem ocorra apenas quando o feedback é imediato, mas que retornos oportunos e significativos podem potencializar a reflexão dos estudantes sobre seus próprios processos de pensamento. Nesse sentido, tais princípios dialogam tanto com perspectivas construtivistas, ao valorizar a construção ativa do conhecimento por meio da interação e da reflexão, quanto com uma dimensão pragmática da educação, na medida em que conectam o conhecimento às situações de uso e à resolução de problemas. Ainda assim, essa aproximação não implica uma lógica de que “os fins justificam os meios”, mas reforça a necessidade de que as estratégias pedagógicas sejam eticamente orientadas e pedagogicamente coerentes com os objetivos formativos.

2.1.3 Inteligência Artificial

A inserção da Inteligência Artificial no campo educacional tem sido compreendida por diversos pesquisadores não apenas como uma tendência passageira, mas como parte de uma transformação mais ampla nas formas de ensinar, aprender e produzir conhecimento. Nesse sentido, estudos indicam que as tecnologias baseadas em IA vêm ampliando as possibilidades de personalização da aprendizagem, análise de dados educacionais e criação de ambientes de ensino mais interativos (Zawacki-Richter *et al.*, 2019; Holmes; Bialik; Fadel, 2019). De acordo com Chiu *et al.* (2022), a IA na educação pode ser entendida como a aplicação de tecnologias como sistemas tutoriais inteligentes, chatbots, análise de aprendizagem e avaliação automatizada com o objetivo de apoiar e aprimorar o processo educacional.

Nessa perspectiva, ferramentas baseadas em modelos de linguagem, como o ChatGPT, podem atuar como instrumentos de mediação cognitiva, auxiliando estudantes na formulação de perguntas, na organização de ideias e na exploração de conceitos científicos. Tal possibilidade encontra respaldo na teoria sociocultural de Vygotsky, segundo a qual o desenvolvimento cognitivo ocorre por meio da mediação de ferramentas culturais e simbólicas. Conforme afirma o autor, “todas as funções no desenvolvimento cultural da criança aparecem duas vezes: primeiro, no nível social, e depois, no nível individual” (Vygotsky, 1978, p. 57). Assim, quando utilizadas de forma crítica e pedagogicamente orientada, tecnologias de IA podem funcionar como ferramentas culturais contemporâneas que ampliam as oportunidades de interação, reflexão e construção do conhecimento (Luckin *et al.*, 2016; Holmes; Bialik; Fadel, 2019).

O uso pedagógico da IA demanda uma reconfiguração das práticas docentes, promovendo uma integração entre tecnologias emergentes e metodologias ativas. Guimarães *et al.* (2023) dizem:

Ter cesso à informação antes do avanço tecnológico era uma prática árdua e que exigia muita paciência, contudo, na sociedade contemporânea as coisas mudaram, possibilitando que a tecnologia que antes era apenas um sonho se tornasse realidade e contribuísse para a vida das pessoas no mundo mediante o processo de evolução de seus dispositivos e plataformas, os quais vieram para melhorar significativamente a realização das atividades do cotidiano (Guimarães *et al.*, 2023, p. 3).

No caso específico do ChatGPT e Notebooklm, a utilização no ensino de Física pode favorecer a construção de conhecimento por meio da linguagem, proporcionando interações

que ampliam a zona de desenvolvimento proximal dos estudantes. Como pontua o Guia do ChatGPT, não se trata de substituir o toque humano, a intuição e a sabedoria [...] mas sim de complementar e potencializar esses atributos (Rego, 2023, p. 7). Essa concepção se aproxima da perspectiva de Vygotsky, para quem a linguagem e a interação social são fundamentais no desenvolvimento intelectual.

Contudo, é preciso um olhar crítico para as implicações do uso de IA na educação. Campos e Lastória (2020) alertam que a instrumentalização computacional da educação e a industrialização digital da cultura podem levar a um processo de semiformação, no qual o conhecimento se torna fragmentado e subordinado às lógicas mercadológicas. Nesse sentido, a mediação docente permanece insubstituível para garantir que a IA seja usada de forma crítica, ética e comprometida com a formação integral dos sujeitos.

O ensino da IA, inclusive, começa a ser proposto como conteúdo formativo na Educação Básica brasileira, em consonância com a Base Nacional Comum Curricular. Para Camada e Durães (2020), “os resultados apontam para as possibilidades de pesquisa e aplicação do ensino da IA na Educação Básica Brasileira”. Este movimento reforça a necessidade de capacitação docente e de desenvolvimento de práticas pedagógicas que integrem a IA de forma significativa, crítica e dialógica.

O ChatGPT, representa tanto um desafio quanto uma oportunidade para práticas educativas inovadoras (Porto, Santos & Bottentuit Jr., 2024, p. 42). Essa prática, quando orientada por pressupostos pedagógicos críticos e participativos, pode fomentar a autonomia discente, a colaboração e o pensamento científico no ensino de Física Moderna e Contemporânea.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

Inicialmente fez-se uma busca nas 1.175 dissertações disponíveis no banco de dissertações do MNPEF, das quais foram selecionadas aquelas que apresentavam convergência com esta pesquisa, considerando quatro eixos: ensino de Física Moderna e Contemporânea; abordagem do Modelo Padrão de Partículas Elementares e Interação Fraca; Metodologias Ativas e Colaborativas com uso de Tecnologias Digitais e aplicação de Inteligência Artificial no Ensino de Física.

O Quadro 5 resume dissertações em que o título e/ou resumo fazem algum tipo de ilusão aos critérios de inclusão.

Quadro 5 – Dissertações do MNPEF com algum grau de afinidade com este projeto

1	UTILIZAÇÃO DO JOGO "O CAÇADOR DE PARTÍCULAS" COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=13110204	Wanderson Rocha De Carvalho	2018
2	A ABORDAGEM DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NA PRIMEIRA SÉRIE DO ENSINO MÉDIO, MEDIADA PELO USO DE RECURSOS DE HIPERMÍDIAS https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewInteracoesFundamentaisdaNaturezaWTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=13020848	Emerson Ferreira Fernandes	2021
3	PROPOSTA DE INSERÇÃO DE CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA MEDIADA PELO ENSINO DE ASTRONOMIA https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11343986	Rafael Bezerra Siqueira	2021
4	TEATRO DE FANTOCHES COMO INSTRUMENTO DE ENSINO DO MODELO PADRÃO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=12976496	Libreville Katalandio Pereira	2022
5	UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA A FÍSICA QUÂNTICA: A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO.	Wladimir Ferreira Parente	2020
6	O ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS POR MEIO DA VIDA E OBRA DO FÍSICO BRASILEIRO CÉSAR LATTES https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/229069	Tatiane Pacheco Zanette	2021
7	UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO NÍVEL MÉDIO ATRAVÉS DA NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA https://www.unirio.br/mnpef/dissertacoes/copy23_of_o-uso-do-arduino-e-do-processing-no-ensino-de-fisica/view	Eduardo Pinheiro Correia	2020
8	GAMES DIGITAIS : UMA ABORDAGEM DE FÍSICA DE PARTÍCULAS ELEMENTARES NO ENSINO MÉDIO http://repositorio.unb.br/handle/10482/35139	Jefferson Rodrigues de Oliveira	2018
9	CONSTRUÇÃO DE UM WEBSITE SOBRE A FÍSICA DOS NEUTRINOS PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglelefindmkaj/https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p17-dissertacao-denis.pdf	Denis Marcel Gouveia De Souza	2020
10	FÍSICA DE PARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA	Francisco Flavio	2020

	EXPERIMENTAL SOBRE PARTÍCULAS ELEMENTARES E RADIAÇÃO CÓSMICA chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p17-dissertacao-francisco.pdf.pdf	Ribeiro Viana	
11	O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO: UM TRATAMENTO ELEMENTAR https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/8669	Roberto Rodrigues Gomes	2017
12	FÍSICA DE PARTÍCULAS: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO MÉDIO chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.urca.br/wp-content/uploads/sites/12/2021/06/p31.disser.jorge_.pdf	Jorge Luís Da Silva	2017
13	TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://docs.uft.edu.br/share/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/tMltJ-LsSySj0tjkejtcLw/content/DISSERTACAO%20Ageu%20MNPEF.pdf	Ageu Pereira De Almeida	2018
14	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO CONCEITO DE ENERGIA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO	Marcos Antonio Cerqueira Santos	2017
15	O SOCIOINTERACIONISMO COMO MECANISMO DE SUPORTE PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO APLICADO À EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS: UMA ABORDAGEM DINÂMICA, QUE OPORTUNIZA PARA JOVENS E ADULTOS A INCLUSÃO NUMA CONSTRUÇÃO DIALÓGICA DE CONCEITOS FÍSICOS https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5026994	Wenderson Romeu Caus	2017
16	DA DESCOBERTA DO NÚCLEO AO BÓSON DE HIGGS: UMA INTRODUÇÃO AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS ELEMENTARES COM ATIVIDADES VIRTUAIS chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://tede.ufsc.br/teses/PPEF-B0002-D.pdf	Ricardo Beal	2018
17	AVENTURAS EM QUANTÓPOLIS: ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE LIVRO PARADIDÁTICO PARA ABORDAGEM CONCEITUAL DO MODELO PADRÃO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS EM TURMAS DO ENSINO MÉDIO chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7a1dfa04-58dd-4e75-9c36-d0f29f369ece/content	Francisco Levi Pereira Braga	2018
18	ELABORAÇÃO DE VÍDEOS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS PARA INTRODUÇÃO DA INTERAÇÃO NUCLEAR FRACA: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA A PARTIR DO DECAIMENTO BETA http://www.mnpefpolo06.uefs.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=13	Nilson Silva De Andrade	2022

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

2.2.1 Delimitação Temporal

A revisão de literatura foi delimitada temporalmente entre os anos de 2017 e 2025. O ano de 2017 marca a homologação da Base Nacional Comum Curricular, que se caracteriza como um importante marco para a reformulação do currículo da Educação Básica Brasileira, impactando diretamente o ensino de Física, principalmente no que se refere à diminuição da carga horária e introdução de competências gerais e específicas, além de orientar novas práticas pedagógicas.

Em nível estadual, o DCRB, construído a partir das diretrizes da BNCC, foi implementado progressivamente a partir de 2019, contextualizando regionalmente as propostas pedagógicas no Estado da Bahia.

A IA ChatGPT desenvolvida pela OpenAI foi criada em junho de 2020, porém foi a partir de 2023 que se tornou acessível ao público geral e começou a ser integrada em contextos educativos de forma mais ampla. Seu uso como instrumento de mediação didática é um dos diferenciais desta proposta, sendo explorado como recurso tecnológico para potencializar a Aprendizagem Baseada em Equipes no ensino de física.

2.2.2 Critérios de inclusão e exclusão

A seleção das dissertações que compuseram o corpus desta revisão foi realizada a partir de uma busca sistemática no Banco de Dissertações do MNPEF, disponível no site da Sociedade Brasileira de Física (SBF). Buscou-se identificar trabalhos que apresentassem convergência temática, metodológica e teórica com os objetivos desta pesquisa.

Foram incluídos na análise os trabalhos que:

1. Abordam conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, especialmente tópicos relacionados ao Modelo Padrão de Partículas Elementares e às interações fundamentais, em especial a interação nuclear fraca.
2. Exploram metodologias ativas de ensino, como Aprendizagem Baseada em Equipes, Sequências Didáticas Colaborativas, gamificação ou abordagens construtivistas/sociointeracionistas.
3. Utilizam recursos tecnológicos ou digitais como mediadores pedagógicos (simuladores, jogos, hiper mídias, vídeos, plataformas digitais, inteligência artificial, etc.).
4. Apresentam fundamentação teórica alinhada ao sociointeracionismo (Vygotsky) ou educação dialógica e colaborativa.

5. Pertencem ao escopo do MNPEF (dissertações apresentadas entre 2017 e 2024) e disponibilizadas integralmente online, permitindo leitura e análise integral do texto.
6. Têm aplicabilidade pedagógica direta, com descrição de produtos educacionais ou propostas de intervenção no ensino médio na área de física moderna e contemporânea.

Foram excluídos os trabalhos que:

1. Tratam exclusivamente de conteúdos de física clássica (mecânica, termodinâmica, óptica, eletricidade) sem conexão com FMC.
2. Não apresentam aplicação pedagógica concreta, limitando-se a discussões teóricas ou revisões bibliográficas sem proposta de ensino.
3. Não mencionam metodologia ativa, recursos digitais, aprendizagem colaborativa ou referenciais relacionados a Vygotsky.
4. Focam em níveis de ensino diferentes do ensino médio (como ensino superior ou fundamental).
5. Possuem inconsistência metodológica ou ausência de descrição detalhada do produto educacional, dificultando a análise comparativa.
6. Não possuem acesso público integral (documentos incompletos, links inativos ou apenas resumos disponíveis).

Após a triagem inicial das 1.175 dissertações disponíveis na data desta pesquisa, aplicaram-se os critérios de inclusão e exclusão, resultando em 18 dissertações que apresentaram pontos de convergência com esta proposta. Destas, oito trabalhos mostraram alto grau de afinidade temática, metodológica e teórica, sendo utilizados para compor o subtópico de Estado da Arte, com ênfase nas contribuições voltadas à aprendizagem mediada por tecnologias e colaboração social no ensino de Física de Partículas.

Utilizou-se uma síntese interpretativa com três níveis de convergência

- Altíssimo: coincidência temática direta (interação fraca) e metodológica.
- Alto: diálogo teórico-metodológico claro.
- Médio-Alto: convergência conceitual ou teórica com variação no foco temático.

Nas principais revistas brasileiras de Ensino de Física (com foco em Ensino Médio) não foram encontrados trabalhos com nível de convergência que justificasse a inclusão ou

análise, nos períodos de 2017 a 2025. Nestes casos a busca envolveu trabalhos que utilizassem ABE juntamente com IA no ensino de MPPE.

Quadro 6: Lista de revistas que publicam na área de ensino de física

Revista	Órgão ao qual está vinculada
Revista Brasileira de Ensino de Física	(RBEF) – SBF / SciELO
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	(CBEF) – UFSC
A Física na Escola	(FnE) – SBF
Revista do Professor de Física	(RPF) – UnB
Experiências em Ensino de Ciências	(EENCI) – UFMT

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Nas revistas do quadro5 não foram encontrados artigos que abordem o ensino de MPPE e Interação Nuclear Fraca, porém vale abrir um parênteses para o trabalho intitulado “Modelo padrão: uma análise dos Livros Didáticos do PNLD para identificar conceitos relacionados a Física de Partículas Elementares” (Bastos, Gonçalves e Neto, 2022), publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, embora não haja correlação com este trabalho, serve como análise de como os conceitos envolvidos no MPPE estão presentes nos livros didáticos.

Quadro 7 – Dissertações do MNPEF selecionadas a partir dos critérios de inclusão/exclusão

Autor / Ano / Título	Eixo Principal do Trabalho	Relação e Diálogo com a Presente Pesquisa	Nível de Convergência
Nilson Silva de Andrade (2022) – Elaboração de Vídeos Potencialmente Significativos para Introdução da Interação Nuclear Fraca	Ensino da interação nuclear fraca por meio de vídeos animados com base em Ausubel e aprendizagem significativa.	Aborda o mesmo conteúdo (interação nuclear fraca e decaimento beta), com fundamentação construtivista. Avança ao incluir IA e ABE como mediadores socioculturais, ampliando a ZDP e tornando a proposta colaborativa.	Altíssimo

<p>Librevile Katalandio Pereira (2022) – Teatro de Fantoches como instrumento de Ensino do Modelo Padrão de Física de Partículas</p>	<p>Uso de linguagem artística e teatral como mediação simbólica para o ensino do Modelo Padrão.</p>	<p>Valoriza a mediação simbólica (Vygotsky) e a aprendizagem cooperativa. A dissertação substitui o teatro pela IA e ABE como instrumentos culturais contemporâneos, mantendo a interação social.</p>	<p>Alto</p>
<p>Francisco Levi Pereira Braga (2018) – Aventuras em Quantópolis: livro paradidático sobre o Modelo Padrão</p>	<p>Produção de livro narrativo ilustrado sobre o Modelo Padrão e as interações fundamentais.</p>	<p>Dialoga pela popularização da Física de Partículas, com linguagem acessível e interdisciplinar. A pesquisa amplia o enfoque ao propor interação ativa e colaborativa mediada por IA.</p>	<p>Alto</p>
<p>Ricardo Beal (2018) – Da Descoberta do Núcleo ao Bóson de Higgs: atividades virtuais sobre o Modelo Padrão</p>	<p>Uso de simulações e atividades virtuais para introduzir partículas elementares e interações.</p>	<p>Ambos inserem FMC com tecnologias digitais. A dissertação integra IA generativa e mediação sociocultural, deslocando o foco de simulações isoladas para processos colaborativos mediados.</p>	<p>Alto</p>
<p>Jefferson Rodrigues de Oliveira (2018) – Games Digitais: uma abordagem de Física de Partículas Elementares</p>	<p>Desenvolvimento de jogo digital interativo para o ensino de Física de Partículas.</p>	<p>Explora recursos digitais como mediadores de aprendizagem ativa. A dissertação amplia o conceito ao promover colaboração real em equipes mediada por IA.</p>	<p>Alto</p>
<p>Rafael Bezerra Siqueira (2021) –</p>	<p>Ensino de Física Moderna com base</p>	<p>Busca inserir FMC no ensino médio de</p>	<p>Médio-Alto</p>

Proposta de Inserção de Conceitos de Física Moderna mediada pelo Ensino de Astronomia	em contextos astronômicos e metodologias ativas.	forma significativa. Converge pela integração entre contexto motivador, aprendizagem em grupo e uso de recursos digitais.	
Tatiane Pacheco Zanette (2021) – O ensino de Física de Partículas por meio da vida e obra de César Lattes	Abordagem histórico-cultural e contextualizada no ensino de partículas elementares.	Valorização da mediação cultural e da história da ciência como instrumento de significação. Amplia o princípio vygotskiano ao aplicar IA como nova ferramenta cultural.	Médio-Alto
Wanderson Rocha de Carvalho (2018) – O Caçador de Partículas: jogo didático para o ensino de Física de Partículas	Criação de jogo educacional para ensino lúdico de partículas.	Converge pelo enfoque interativo e construtivista, estimulando o protagonismo do aluno. A dissertação adiciona colaboração em equipes e mediação da IA.	Médio-Alto

Fonte: Elaborado pelo próprio autor com auxílio do ChatGPT 5.1(2025).

O trabalho desenvolvido por Andrade (2022) apresenta grau de convergência altíssimo com a presente pesquisa, sobretudo em razão da proximidade temática, dos objetivos pedagógicos e da natureza do produto educacional proposto. Ambas as investigações se dedicam à introdução de conceitos da Física de Partículas no Ensino Médio, com destaque para a interação nuclear fraca e o decaimento beta, conteúdos tradicionalmente considerados abstratos e pouco explorados no currículo escolar. Nesse sentido, os dois estudos partem da mesma preocupação didática: tornar acessíveis aos estudantes conceitos da Física Moderna e Contemporânea por meio de recursos pedagógicos que favoreçam a compreensão conceitual. No trabalho de Andrade, a proposta pedagógica consiste na elaboração de vídeos potencialmente significativos, fundamentados na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, com o objetivo de favorecer a construção de novos significados a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes. A utilização de vídeos animados busca reduzir o nível de abstração inerente aos conceitos da Física de Partículas, permitindo que os alunos

estabeleçam relações entre fenômenos conhecidos, como o decaimento beta, e os fundamentos da interação nuclear fraca. De modo convergente, nossa pesquisa também propõe o uso de recursos audiovisuais e tecnológicos como mediadores da aprendizagem, com o objetivo de facilitar a compreensão de conceitos associados ao Modelo Padrão de Partículas Elementares. Entretanto, a proposta amplia essa abordagem ao integrar Inteligência Artificial e Aprendizagem Baseada em Equipes estratégias pedagógicas articuladas à Teoria Sociocultural de Vygotsky, enfatizando a importância da interação social, da colaboração entre pares e da mediação tecnológica no processo de construção do conhecimento.

Em se tratando do ensino de Física Moderna e Contemporânea, em especial as formações de professores, destacam-se Marco Antonio Moreira, Fernanda Ostermann e o Programa de Formação em Física de Partículas e Astropartículas, projeto de extensão da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Nesse cenário, destacam-se aqueles desenvolvidos Ostermann e Moreira (2000) que são considerados pioneiros dentro do processo de introdução da FMC no currículo de física do ensino médio brasileiro (Goulart e Leonel, 2020).

2.2.2 Estado da Arte

Do ponto de vista histórico e curricular, a discussão sobre a presença da Física Moderna e Contemporânea no ensino básico, remete os tempos dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) em 1997, da qual o MPPE é um eixo estruturante. Esta análise foi sistematizada por Ostermann e Moreira (2000), em uma revisão bibliográfica que consolida a FMC como linha de pesquisa no campo do Ensino de Física. Os autores argumentam que a introdução de conceitos de Física de Partículas e interações fundamentais pode contribuir para aproximar os estudantes de questões de fronteira da ciência, desde que tais conteúdos sejam articulados às orientações curriculares, ao contexto sociocultural dos alunos e a materiais didáticos apropriados (Ostermann; Moreira, 2000).

Ampliando esse debate ao incorporar a Aprendizagem Baseada em Equipes como metodologia estruturante da intervenção didática. Enquanto boa parte das produções do MNPEF sobre MPPE e Física de Partículas privilegia jogos, materiais paradidáticos, teatro ou recursos audiovisuais isolados (Carvalho, 2018; Caliari, 2018; Andrade, 2022; Viana, 2020), esta dissertação procura articular tais recursos a uma estratégia pedagógica colaborativa, com

etapas bem definidas (iRAT, tRAT, aplicação e feedback), orientadas por princípios da teoria sociocultural de Vygotsky e da aprendizagem significativa crítica.

Além disso, ao considerar o diagnóstico de Bastos, Gonçalves e Cabral Neto (2022) sobre o ensino fragmentado do MPPE nos livros didáticos do Plano Nacional do Livro Didático (PNLD), a proposta aqui desenvolvida busca ser uma alternativa para professores do ensino médio que, muitas vezes, dependem exclusivamente desses livros. O produto educacional oferece um caminho auxiliar para aprofundar os conteúdos de Física de Partículas Elementares presentes, ainda que de forma limitada, nos livros adotados, potencializando-os por meio de atividades colaborativas e criação de vídeos.

A incorporação da Inteligência Artificial na educação básica tem avançado de um modelo centrado apenas em recursos digitais pontuais para ecossistemas de aprendizagem que articulam personalização, análise de dados educacionais e desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes sobre a própria tecnologia. Vicari e colaboradores propõem, tanto no livro *Inteligência Artificial na Educação Básica* quanto em produções recentes, uma dupla perspectiva “pensar com IA” e “pensar sobre IA”, na qual a IA é ao mesmo tempo ferramenta para resolução de problemas e objeto de estudo, abrangendo desde algoritmos, aprendizagem de máquina e processamento de linguagem natural até questões éticas e sociais envolvidas em seu uso nas escolas (Vicari *et al.*, 2023). Já Pscheidt, em *Inteligência Artificial na Sala de Aula*, discute o estado da arte a partir do ponto de vista da prática docente, enfatizando a IA como aliada para automatizar tarefas burocráticas, desenhar percursos personalizados e, sobretudo, formar estudantes capazes de avaliar criticamente as respostas produzidas por sistemas como o ChatGPT, evitando a substituição do pensamento humano pela “resposta pronta” da máquina (Pscheidt, 2024). Em conjunto, essas obras indicam que o uso contemporâneo da IA na educação básica se desloca de uma visão tecnicista para uma abordagem mais ampla, que integra inovação pedagógica, formação docente contínua e reflexão crítica sobre os impactos da IA na cultura escolar.

Dessa forma, a contribuição específica desta dissertação para o estado da arte pode ser resumida em três eixos principais:

a) Integração teórica: articula a aprendizagem com a teoria sociocultural de Vygotsky e o campo consolidado da FMC no Ensino Médio (Ostermann; Moreira, 2000), aplicando-os ao tema específico da interação fraca e do decaimento beta;

b) Inovação metodológica: consolida uma proposta de ensino do MPPE baseada em Aprendizagem Baseada em Equipes, algo ainda pouco explorado de forma sistemática nas pesquisas sobre Física de Partículas Elementares no Ensino Médio;

c) Incorporação crítica da inteligência artificial: explora o uso de ferramentas de IA generativa como suporte ao estudo individual e coletivo, à produção de materiais pelos estudantes (como vídeocasts) e à mediação docente, contribuindo para um debate emergente sobre IA na educação em Ciências, praticamente ausente nos trabalhos que tratam diretamente do MPPE e da interação fraca no Ensino Médio.

Assim, ao dialogar com Moreira, Ostermann, Bastos, Vicari, Pscheidt e demais autores, a presente pesquisa busca preencher uma lacuna identificada na literatura: a ausência de propostas que combinem, de modo harmônico e sincronizado, MPPE, ensino de Interação Fraca, Metodologias Colaborativas estruturadas e uso pedagógico de Inteligência Artificial, em um contexto real de escola pública e com foco na terceira série do Ensino Médio.

3. PRESSUPOSTOS DA FÍSICA

Quando Maria Cristina Batoni Abdalla escreveu a primeira versão do seu livro *O Discreto Charme das Partículas Elementares* em 2005, disse: A última partícula elementar encontrada (bem menos conhecida) foi o neutrino do tau em 2000, por uma equipe de físicos do Fermi National Laboratory (Fermilab), Estados Unidos (Abdalla, 2005), porém sete anos

após sua publicação, em 2012, outra partícula elementar já prevista teoricamente em 1964 por Peter Higgs, François Englert e Robert Brout foi detectada por cientistas no Grande Colisor de Hádrons (LHC), acelerador de partícula que compõe o complexo de laboratórios e experiências da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN). Isso mostra a velocidade com que as pesquisas na área de Física de Partículas evoluem.

3.1 BREVE HISTÓRICO

A história do desenvolvimento do conceito de átomo está intimamente conectada com a própria história do pensamento científico e o avanço da Física. O entendimento desse conceito gerou um impacto significativo em diversas áreas do conhecimento, abrangendo a filosofia, a química, diversas áreas da física e medicina.

O conceito de átomo surge com Leucipo (entre 500 a.C. e 420 a.C) e foi elaborado por Demócrito (585 a.C.). A palavra *átomo*, de origem grega, significa "indivisível," representando a essência última da matéria. Demócrito postulava a existência de entidades que eram muito pequenas para serem observadas, estavam em movimento contínuo no vazio e eram impossíveis de serem subdivididas. Através de colisões, esses átomos se uniam para formar a variedade de coisas que compõem o mundo conhecido.

Durante a Idade Média, a doutrina do atomismo foi majoritariamente abandonada. O interesse pela Natureza ressurgiu com a Renascença Italiana, ganhando grande impulso nos séculos XVI e XVII com figuras centrais como Copérnico (1473-1543), Galileu (1564-1642) e Newton (1643-1727).

Newton aceitava o atomismo, embora sua principal preocupação não fosse a composição do átomo, mas sim a lei universal do movimento e a forma da interação pela qual a matéria se atrai. A Teoria Cinética dos Gases (segunda metade do século XIX), influenciada pelo pensamento newtoniano, conseguiu explicar as propriedades físicas dos gases ao supor que estes eram formados por um número imenso de átomos e moléculas em movimento, interagindo por meio de forças newtonianas.

Até o final do século XIX, perdurou a crença de que o átomo era um elemento sem estrutura, um constituinte básico indivisível. Coube a Dalton (1766 e 1844) em 1808 propor que a maneira como esses elementos se uniam para formar as diversas substâncias poderia ser compreendida se cada elemento fosse composto por átomos. No entanto, ele ainda concebia a essência última da matéria como indivisível, razão pela qual ele manteve o nome "átomos" em homenagem a Demócrito.

A primeira evidência indireta de que os átomos poderiam não ser elementares surgiu por volta de 1869 com Mendeleev (1834 a 1907), cuja descoberta da repetição regular de propriedades em intervalos definidos ao listar os elementos sugeriu que o átomo possuía uma estrutura interna complexa. Atualmente, entende-se que o átomo é um sistema composto por elétrons que circundam um núcleo compacto, mantidos juntos pela atração eletromagnética entre as cargas opostas (elétrons negativos e núcleo positivo), porém hoje já se sabe que há a interação nuclear forte, mediada pelos glúons e a interação nuclear fraca, mediada pelos bósons Z^0 , W^- e W^+ .

A primeira evidência experimental de que os elétrons faziam parte do átomo foi obtida por Thomson (1856 a 1940) em 1897. Posteriormente, em 1911, Rutherford (1871-1937) propôs um modelo atômico baseado em experimentos de bombardeamento, no qual um átomo neutro e massivo continha o núcleo, uma estrutura positivamente carregada que concentrava quase toda a massa e ocupava apenas um trilhonésimo do volume atômico.

Contudo, o átomo de Rutherford, análogo ao sistema solar, era inconsistente com as leis da Física Clássica então conhecidas, pois as cargas em órbita circular, como os elétrons, deveriam irradiar energia continuamente e colapsar em direção ao núcleo em uma espiral em uma fração de segundo.

A inadequação da Física Clássica para descrever sistemas microscópicos impulsionou uma revolução na Física entre 1915 e 1930, culminando no surgimento da Mecânica Quântica. Inspirado pelas ideias de Planck (1858-1947) e Einstein (1879-1955) sobre a emissão de luz em "pacotes" de energia (quanta), Niels Bohr (1885-1962) propôs que as energias dos elétrons nos átomos também eram quantizadas. Segundo Bohr, os elétrons só podiam ocupar certos estados de energia definidos, e eram restritos a estes estados, não podendo irradiar energia continuamente. Eles apenas podiam saltar entre estados, emitindo ou absorvendo energia para manter a energia total constante. O aprofundamento dessas ideias, a partir de 1925, resultou na Teoria Quântica Moderna, desenvolvida por Schrödinger (1887-1961), Heisenberg (1901-1976) e Dirac (1902-1984), entre outros.

Mesmo com a Mecânica Quântica, a estabilidade do núcleo atômico representava um enigma, dada a enorme repulsão coulombiana entre os prótons em pequenas distâncias. Então em 1932, a solução surgiu com a proposta e posterior confirmação experimental do nêutron por Chadwick (1891-1974). O nêutron, uma partícula sem carga elétrica líquida, porém com carga nuclear, o que a faz interagir através de momentos elétricos e magnéticos de ordem superior. Além disso, a hipótese de uma nova interação, a força nuclear ou forte, foi introduzida: esta força atrativa superava a repulsão coulombiana, explicando por que o núcleo

permanecia unido.

Paralelamente, em 1930, Pauli (1900-1958) postulou a existência do neutrino, uma partícula quase indetectável, sem carga e com massa pequena ou nula, para explicar o comportamento de núcleos radioativos e garantir a conservação de energia e momentum no processo de decaimento beta (β).

Portanto, na década de 30, as partículas conhecidas incluíam o elétron, o próton, o nêutron e o neutrino. O estudo do núcleo foi impulsionado pelo desenvolvimento de aceleradores de partículas capazes de fragmentar o núcleo, buscando entender a natureza das interações nucleares.

Antes do desenvolvimento e da ampla utilização de aceleradores de partículas, especialmente nas primeiras décadas do século XX, o estudo das partículas provenientes dos raios cósmicos desempenhou papel fundamental para o avanço da física de partículas. Nesse contexto, destaca-se a contribuição do físico brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes, cujos trabalhos, realizados no final da década de 1940, foram decisivos para a identificação e o estudo de partículas produzidas em interações de raios cósmicos na atmosfera terrestre. Utilizando emulsões nucleares expostas em experimentos realizados em regiões de grande altitude, como nos Andes bolivianos, Lattes participou da descoberta experimental do méson pi (píon) em 1947, partícula cuja existência havia sido prevista teoricamente por Hideki Yukawa em 1935 como mediadora da força nuclear forte. Essa descoberta representou um marco na física de partículas, demonstrando que os raios cósmicos funcionavam como verdadeiros “aceleradores naturais”, permitindo investigar fenômenos subatômicos em energias muito superiores às disponíveis nos laboratórios da época. O trabalho de Lattes contribuiu significativamente para consolidar a física de partículas experimentais e antecedeu o papel que, nas décadas seguintes, seria desempenhado pelos grandes aceleradores de partículas.

Na década de 60, o vasto número de partículas elementares descobertas sugeriu que os hádrons possuíam uma estrutura interna. Em 1964, Gell-Mann (1929-2019) e Zweig (1881-1942) propuseram o Modelo de Quark, baseado em três constituintes fundamentais (sabores): up (u), down (d) e strange (s). Esses quarks, considerados primordiais e indivisíveis (átomos de Demócrito), combinam-se para formar os hádrons. Por exemplo, um próton é composto pela combinação uud , e um nêutron, por udd .

Outras partículas conhecidas, como o elétron, o múon e o neutrino, que não interagem via interação forte, foram classificadas como léptons. A ideia aceita e estabelecida na década de 60 era de que a matéria no universo era constituída de quarks e léptons.

O Modelo de Quark evoluiu posteriormente para se adequar às simetrias observadas na natureza. O grupo de léptons foi ampliado com o neutrino do múon ($\nu\mu$). Para manter a simetria, foi previsto e, em 1974, descoberto o quarto quark, charm (c). As descobertas subsequentes do lépton tau (τ) e dos quarks bottom (b) e top (t) consolidaram o quadro atual.

Assim, o Modelo Padrão de Partículas Elementares estabelece que os constituintes últimos da matéria são seis quarks e seis léptons. Embora essa descrição tenha sido estabelecida por volta de 1998, ela é reconhecida como um modelo em evolução, não sendo a palavra final sobre a estrutura fundamental da matéria.

Figura 2. Modelo Padrão de Partículas Elementares

QUARKS	UP mass 2,3 MeV/c ² charge $\frac{2}{3}$ spin $\frac{1}{2}$ 	CHARM 1,275 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ 	TOP 173,07 GeV/c ² $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ 	GLÚON 0 0 1 	BOSON DE HIGGS 125 GeV/c ² 0 0 0 	
	DOWN 4,8 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ 	STRANGE 95 MeV/c ² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ 	BOTTOM 4,18 GeV/c ² $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ 	FÓTON 0 0 1 		
	ELÉTRON 0,511 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ 	MUON 105,7 MeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ 	TAU 1,777 GeV/c ² -1 $\frac{1}{2}$ 	Z BOSON 91,2 GeV/c ² 0 1 		
	ELÉTRON NEUTRINO <2,2 eV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ 	MUON NEUTRINO <0,17 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ 	TAU NEUTRINO <15,5 MeV/c ² 0 $\frac{1}{2}$ 	W BOSON 80,4 GeV/c ² ±1 1 		
	LÉPTONS					

Fonte: Brasil escola (2025).

3.1.2 O Conceito de Partícula e a Elementaridade

A conceituação de partícula na Mecânica Quântica constitui um desafio epistemológico e didático significativo, pois rompe com a noção clássica de partícula como um pequeno objeto material, localizado e dotado de trajetória bem definida. Na física clássica, herdada da mecânica newtoniana, uma partícula é concebida como um corpo pontual cuja posição e velocidade podem, em princípio, ser determinadas simultaneamente com precisão arbitrária. Entretanto, no domínio microscópico descrito pela Mecânica Quântica, essa representação deixa de ser adequada, exigindo uma reformulação conceitual profunda sobre a natureza da matéria e da radiação.

Um dos principais elementos que explicam essa dificuldade é o fenômeno conhecido como dualidade onda-partícula. Experimentos realizados com entidades quânticas, como elétrons e fótons, demonstram que esses objetos podem apresentar comportamentos típicos de partículas, como serem detectados em pontos discretos de um detector, ou comportamentos característicos de ondas, como interferência e difração. Essa dualidade indica que os objetos

quânticos não podem ser descritos adequadamente apenas por categorias clássicas. Em determinadas condições experimentais, o elétron manifesta propriedades corpusculares; em outras, revela propriedades ondulatórias, tornando inadequada a ideia de uma trajetória contínua e bem definida, como ocorre com objetos macroscópicos.

Outro aspecto fundamental está relacionado ao papel da função de onda, formalismo matemático central da Mecânica Quântica. Nesse contexto, o estado de uma partícula não é descrito por uma posição determinada no espaço, mas por uma função de onda que representa uma distribuição de probabilidades para os possíveis resultados de uma medição. Antes da observação, a partícula não possui uma posição definida no sentido clássico, mas encontra-se descrita por uma superposição de estados possíveis. O processo de medição está associado ao chamado colapso da função de onda, no qual uma das possibilidades probabilísticas se concretiza em um resultado observável.

A complexidade conceitual também se intensifica devido ao Princípio da Incerteza, formulado por Werner Heisenberg. Esse princípio estabelece que não é possível determinar simultaneamente, com precisão arbitrária, pares de grandezas conjugadas, como posição e momento linear. Essa limitação não decorre de imperfeições instrumentais, mas constitui uma característica fundamental da natureza quântica. Consequentemente, torna-se impossível atribuir à partícula quântica uma trajetória perfeitamente definida, como ocorre no paradigma clássico.

Outro elemento relevante é a indistinguibilidade das partículas quânticas. Diferentemente de objetos macroscópicos, que podem ser individualizados e rastreados, partículas elementares do mesmo tipo como elétrons são absolutamente indistinguíveis entre si. Em sistemas quânticos com múltiplas partículas idênticas, não faz sentido físico atribuir identidades individuais permanentes, o que desafia ainda mais a noção intuitiva de partícula como entidade individual.

Além disso, desenvolvimentos posteriores da física teórica, especialmente na Teoria Quântica de Campos, ampliaram ainda mais essa mudança conceitual. Nessa abordagem, partículas não são interpretadas como objetos fundamentais, mas como excitações quantizadas de campos que permeiam todo o espaço. Assim, um elétron, por exemplo, pode ser compreendido como uma excitação do campo eletrônico, enquanto um fóton corresponde a uma excitação do campo eletromagnético. Nesse quadro teórico, partículas podem ser criadas ou aniquiladas em interações físicas, o que contrasta fortemente com a concepção clássica de um objeto material permanente.

A definição do que constitui uma partícula na física contemporânea afasta-se da intuição clássica de um objeto puntiforme e sólido, fundamentando-se em propriedades quânticas específicas. Segundo Steven Weinberg, é possível estabelecer uma definição técnica clara para o termo: uma partícula é, fundamentalmente, "um sistema físico que não possui graus de liberdade contínuos, exceto pelo seu momento total" (WEINBERG, 1997, p. 17). Sob essa ótica, um elétron é classificado como tal porque sua descrição completa exige apenas a especificação de seu momento e de seu spin (uma variável discreta). Curiosamente, essa definição abrange sistemas que intuitivamente seriam considerados complexos, como um átomo de hidrogênio em seu estado de menor energia.

A distinção entre o que é uma partícula e o que é uma partícula elementar, contudo, mostrou-se historicamente fluida. No início do século XX, o critério de elementaridade baseava-se na indivisibilidade: se nada pudesse ser "extraído" ou "expulsado" de um objeto através de colisões, ele era considerado elementar. Esse conceito tornou-se problemático com o avanço da física de altas energias na década de 1950, quando a descoberta de inúmeras novas partículas levou a dilemas experimentais sobre a composição da matéria. Refletindo sobre esse período, Werner Heisenberg (apud Weinberg, 1997, p. 18-19) descreveu a dissolução da clareza entre o que é simples e o que é composto:

Um próton, por exemplo, poderia ser composto de nêutron e pión, ou híperon Lambda e káon, ou de dois núcleons e um antinucleón; seria mais simples de tudo dizer que um próton apenas consiste de matéria contínua, e todas essas afirmações são igualmente corretas ou igualmente falsas. A diferença entre partículas elementares e compostas basicamente desapareceu. E essa é, sem dúvida, a descoberta experimental mais importante dos últimos cinquenta anos.

Com o advento da Teoria Quântica de Campos, surgiu uma nova definição baseada na estrutura matemática das leis físicas. Nesse contexto, a elementaridade é definida pela presença da partícula nas equações fundamentais da teoria, especificamente no Lagrangiano. Weinberg (1997, p. 19) afirma categoricamente: "Não importa se a partícula é pesada ou leve, estável ou instável, se o seu campo aparece no Lagrangiano, ela é elementar; se não, não". É por essa razão que, no Modelo Padrão, quarks, léptons e bósons de calibre são classificados como elementares, enquanto prótons e nêutrons são entendidos como compostos, pois a teoria os descreve como combinações de quarks e glúons.

Entretanto, o autor ressalta que essa compreensão pode ser apenas provisória, uma vez que o próprio Modelo Padrão pode ser uma "teoria de campo efetiva", servindo como uma

aproximação de uma teoria ainda mais profunda e desconhecida. Em última análise, a definição definitiva de elementaridade permanece como uma fronteira aberta da física:

Não seremos capazes de dizer quais partículas são elementares até que tenhamos uma teoria final da força e da matéria. Quando tivermos tal teoria, poderemos descobrir que as estruturas fundamentais da física não são partículas de forma alguma. (Weinberg, 1997, p. 20-21).

3.2 INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Na FMC, o conceito de força, que tradicionalmente descreve o que causa a alteração no estado de movimento de um corpo, é compreendido sob a ótica das interações. Rigorosamente, no domínio microscópico, os físicos de partículas preferem utilizar o termo interações nucleares, referindo-se à ação de partículas sobre outras partículas.

As interações nucleares são transmitidas através da troca de partículas mediadoras. Quando duas partículas interagem uma sobre a outra, essa ação ocorre pela troca de uma partícula mediadora. Os mediadores dessas interações, no MPPE, são denominados bósons.

A natureza é regida por quatro interações fundamentais:

1. Interação gravitacional.
2. Interação eletromagnética.
3. Interação Nuclear Forte.
4. Interação Nuclear Fraca.

3.2.1 Interação Gravitacional

A interação gravitacional ocorre entre corpos que possuem massa, sendo de natureza atrativa de longo alcance. A intensidade dessa interação diminui à medida que a distância entre os corpos aumenta, sendo ela a regente dos movimentos dos corpos celestes no universo.

No contexto da Física Clássica, a interação gravitacional possui grande relevância, mas na teoria quântico-relativística, ainda é preciso que se encontre o gráviton, elo de extrema importância para se estabelecer conexões com as demais interações.

3.2.2 Interação Eletromagnética

A interação eletromagnética está associada à propriedade fundamental da carga elétrica presente em diversas partículas elementares. De acordo com essa interação, partículas que possuem cargas de sinais opostos como o elétron e o próton experimentam uma força de atração, enquanto partículas com cargas de mesmo sinal se repelem. Essa interação desempenha papel essencial na estrutura da matéria, pois é responsável por manter os elétrons ligados ao núcleo atômico, possibilitando a formação e a estabilidade dos átomos. Assim como a interação gravitacional, a interação eletromagnética é caracterizada como de longo alcance, uma vez que sua intensidade diminui com o aumento da distância entre as partículas, mas sem se anular completamente.

No âmbito da física moderna, essa interação é descrita como sendo mediada pelo fóton (γ), a partícula elementar associada ao campo eletromagnético. O fóton possui massa de repouso nula e transporta energia e momento ao se propagar à velocidade da luz. A compreensão do caráter corpuscular da radiação eletromagnética foi consolidada no início do século XX com os trabalhos de Albert Einstein, que em 1905 explicou o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico, demonstrando que a luz poderia ser interpretada como composta por quantas discretos de energia, posteriormente denominados fótons.

Outro fenômeno importante que reforça essa interpretação é o Efeito Compton, observado experimentalmente por Arthur Holly Compton em 1923. Nesse efeito, raios X que colidem com elétrons quase livres sofrem uma variação em seu comprimento de onda após a interação, resultado da transferência de energia e momento entre o fóton incidente e o elétron. Esse fenômeno forneceu evidências experimentais decisivas de que a radiação eletromagnética possui comportamento corpuscular, pois o espalhamento observado só pode ser explicado se o fóton for tratado como uma partícula que interage diretamente com o elétron.

Dessa forma, fenômenos como o efeito fotoelétrico e o efeito Compton foram fundamentais para a consolidação da compreensão moderna da interação eletromagnética no contexto da física quântica, evidenciando que a luz e a matéria interagem por meio da troca de fótons, as partículas mediadoras dessa interação fundamental.

3.2.3 Interação Nuclear Forte

A interação nuclear forte é uma das interações fundamentais da natureza e exerce papel essencial na estrutura da matéria em escala subatômica. No núcleo atômico, ela é responsável por manter prótons e nêutrons ligados, garantindo a estabilidade nuclear mesmo

diante da intensa repulsão eletromagnética existente entre os prótons, que possuem cargas elétricas de mesmo sinal. Sem a atuação dessa interação, os núcleos atômicos não poderiam se manter coesos.

Em um nível mais fundamental, entretanto, essa interação não atua diretamente entre prótons e nêutrons, mas entre os quarks, partículas elementares que constituem essas partículas nucleares. De acordo com o Modelo Padrão da física de partículas, a interação nuclear forte é descrita pela teoria conhecida como Cromodinâmica Quântica (QCD). Nessa teoria, os quarks interagem por meio da troca de partículas mediadoras chamadas glúons (g), responsáveis por transmitir essa interação. Diferentemente do fóton, mediador da interação eletromagnética, os glúons também transportam a propriedade associada à interação que mediam, denominada carga de cor, uma característica intrínseca dos quarks que não se refere a cores no sentido visual, mas constitui uma analogia utilizada para representar diferentes estados dessa carga.

A existência dos glúons foi confirmada experimentalmente em 1979, em experimentos realizados no acelerador PETRA, localizado no laboratório DESY, em Hamburgo, Alemanha. Nessas experiências foram observados jatos de partículas produzidos em colisões de alta energia, fenômeno interpretado como evidência da emissão de glúons durante as interações entre quarks.

Outra característica importante da interação nuclear forte é o seu alcance extremamente curto, da ordem de 10^{-15} metros, aproximadamente a escala do núcleo atômico. Por essa razão, seus efeitos tornam-se relevantes apenas em distâncias muito pequenas. Além disso, essa interação não altera o sabor dos quarks, isto é, não transforma um tipo de quark em outro; contudo, pode reorganizá-los no interior das partículas compostas ou ainda gerar pares quark–antiquark em processos de alta energia.

Desse modo, a interação nuclear forte é fundamental para compreender não apenas a estabilidade dos núcleos atômicos, mas também a própria estrutura das partículas hadrônicas, contribuindo para explicar como a matéria observável no universo é organizada em sua escala mais fundamental.

Embora a interação nuclear forte seja responsável pela coesão dos núcleos atômicos, ela não explica todos os fenômenos observados no interior do núcleo. Diversos processos nucleares envolvem transformações nas próprias partículas que compõem prótons e nêutrons, fenômenos que não podem ser descritos apenas pela interação forte ou pela interação eletromagnética. Um exemplo importante é o decaimento beta, no qual um nêutron pode transformar-se em um próton, emitindo um elétron e uma partícula neutra denominada

neutrino. Esse tipo de transformação envolve a mudança do sabor dos quarks, processo que é mediado por outra interação fundamental da natureza: a interação nuclear fraca. Desse modo, para compreender plenamente os processos de transformação de partículas e determinados fenômenos de radioatividade, torna-se necessário introduzir essa terceira interação fundamental, que será discutida a seguir.

3.2.4 Interação Nuclear Fraca

A compreensão moderna da interação nuclear fraca foi significativamente ampliada a partir de um importante resultado experimental obtido pela física nipo-americana Chien-Shiung Wu entre 1956 e 1957. Nesse período, Wu conduziu um experimento decisivo que demonstrou que essa interação viola a chamada Simetria de Paridade, princípio que até então era considerado válido para todas as interações fundamentais conhecidas. A simetria de paridade estabelece que as leis da física devem permanecer invariantes sob uma transformação de espelhamento espacial, ou seja, um fenômeno físico deveria ocorrer da mesma forma em um sistema e em sua imagem refletida no espelho.

A possibilidade de violação dessa simetria havia sido proposta teoricamente pouco antes pelos físicos Tsung-Dao Lee e Chen-Ning Yang, que argumentaram que a conservação da paridade nunca havia sido testada experimentalmente em processos mediados pela interação fraca (Lee; Yang, 1956). Para verificar essa hipótese, Wu realizou um experimento utilizando núcleos de cobalto-60 fortemente resfriados e submetidos a um intenso campo magnético para alinhar seus spins. Ao analisar o decaimento beta desses núcleos, observou-se que os elétrons emitidos apresentavam uma distribuição direcional assimétrica, sendo emitidos preferencialmente no sentido oposto ao do spin nuclear. Esse resultado demonstrou de forma inequívoca que a paridade não é conservada na interação nuclear fraca (Wu *et al.*, 1957).

A confirmação experimental da violação da paridade representou uma mudança profunda na compreensão das leis fundamentais da natureza, pois indicou que determinados processos físicos distinguem entre esquerda e direita no espaço. Esse resultado teve grande impacto no desenvolvimento da física de partículas e contribuiu para a formulação posterior das teorias modernas da interação fraca, que culminaram na construção da teoria eletrofraca, integrada ao Modelo Padrão da Física de Partículas (Griffiths, 2008).

A interação nuclear fraca é assim denominada devido à sua fraca intensidade em comparação com a forte. Ela é responsável pelo decaimento beta (β), o decaimento do pión

carregado e do múon entre outros decaimentos.

Todos os quarks e léptons estão sujeitos à interação fraca, cujo alcance é da ordem de $10^{-18}m$, bem menor que o da interação forte. O tempo de interação característico varia de $10^{-16}s$ a $10^{-10}s$. A primeira formulação da Teoria Fraca foi desenvolvida por Enrico Fermi, em 1933, por meio de uma descrição relativística e quântica (Abdala, 2016, p. 217)

Os neutrinos são afetados apenas pela força fraca, já que não possuem massa nem carga. A presença de um neutrino em uma reação é, portanto, um indicativo de que o processo é governado pela força fraca.

As partículas mediadoras desta interação são os bósons W^+ , W^- , e Z^0 . Eles são muito massivos, possuindo massa quase cem vezes maior que a massa do próton. Essa característica, ao contrário dos outros mediadores, como fóton, glúon e gráviton, que possuem massa de repouso nula, implica que a interação fraca tem um raio de ação limitado. Ela pode mudar o sabor dos quarks, diferente do que ocorre com a interação forte.

As três partículas têm spin 1 e são, portanto, bósons, como todas as partículas mediadoras. Um aspecto muito importante da interação fraca é que as interações mediadas pelas partículas W^+ e W^- mudam o sabor (tipo) dos quarks, mas não mudam o sabor dos léptons.

3.3 DECAIMENTO E MEIA-VIDA

O raio do núcleo pode ser estimado por:

$$R = R_0 \cdot A^{1/3} \quad (1)$$

Sendo A o número de massa e $R_0 \approx 1,2 \text{ fm}$ (1 femtômetro = 10^{-15} m)

A unidade de massa atômica u é definida de modo que a massa atômica do ^{12}C neutro seja exatamente 12u. Logo:

$$1 \text{ u} = 1 \text{ g}/N_A \cong 1,661 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad N_A \cong 6,02 \times 10^{23} \text{ (número de Avogadro)}$$

Utilizando a relação:

$$E = mc^2 \quad (2)$$

A massa de prótons, nêutrons e elétrons isolados também podem ser expressas em

termos de u:

Tabela 1- Massa do próton, nêutron e elétron

Partícula	Massa		
	kg	u	MeV/c ²
Próton	$1,6726 \times 10^{-27}$	1,007 276	938,27
Nêutron	$1,6749 \times 10^{-27}$	1,008 665	939,56
Elétron	$9,109 \times 10^{-31}$	$5,486 \times 10^{-4}$	0,511

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Lembrando: $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$

1 eV é a energia cinética adquirida por um elétron quando acelerado a partir do repouso por uma ddp de 1 Volt ($1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$)

Densidade da matéria nuclear é expressa por:

$$\rho = \frac{A \cdot m_p}{4\pi \frac{R^3}{3}} \quad (3)$$

$$\rho = \frac{A \cdot m_p}{4\pi R_0^3 \cdot \frac{A}{3}} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{3 \cdot A \cdot m_p}{4\pi R_0^3} \quad (5)$$

$$\rho = \frac{3 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}}{4\pi (1,2 \cdot 10^{-15})^3} \cong 2,3 \cdot 10^{17} \text{ Kg/m}^3$$

A estabilidade nuclear é devido à existência da interação nuclear forte que mantém os quarks unidos para formarem os prótons e os nêutrons. Trata-se de uma interação atrativa intensa de curto alcance que age entre todos os nucleons independentemente de sua carga elétrica.

A maior parte dos núcleos conhecidos apresenta instabilidade e, por isso, manifesta comportamento radioativo. Eles sofrem emissões espontâneas de uma ou mais partículas, resultando na transformação em outro elemento. A velocidade com que ocorre o processo de decaimento em uma amostra radioativa é diretamente proporcional à quantidade de núclídeos instáveis presentes nela:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (6)$$

$\lambda[S^{-1}]$: constante de desintegração (ou de decaimento)

λ tem um valor particular para cada decaimento

Integrando de $t = 0$ (quando temos N_0 núcleos radioativos não desintegrados) a t (quando restam N núcleos):

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad (7)$$

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \quad (8)$$

Logo:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

N_0 : número de núcleos radioativos no instante $t = 0$

$N(t)$: número de núcleos que restam na amostra em $t > 0$

λ : constante de desintegração

Pode-se também determinar diretamente a evolução da taxa de decaimento (decaimentos por unidade de tempo)

$$R(t) = -\frac{dN}{dt} \quad (10)$$

Derivando a equação 9, tem-se:

$$R(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Substituindo a equação 9 na equação 11, tem-se

$$R(t) = \lambda N(t) \quad (12)$$

Então pode-se definir

$$R(t) = R_0 e^{-\lambda t} \quad (13)$$

$$R_0 = \lambda N_0 \quad (14)$$

R_0 : taxa de decaimento no instante $t = 0$

$R(t)$: taxa de decaimento em $t > 0$

λ : constante de desintegração

A lei que rege o decaimento é probabilística:

λ : probabilidade por unidade de tempo que um dado radionuclídeo vai decair

$\frac{N(t)}{N_0}$: Probabilidade de um radionuclídeo estar presente no instante t

$$\frac{N(t)}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad (15)$$

A atividade de uma amostra é definida como a taxa de decaimento de todos os radionuclídeos presentes na amostra

No Sistema Internacional de Unidades, a atividade radioativa é medida em becquerel (Bq), que corresponde a um decaimento por segundo.

Outra unidade possível é o curie (Ci), definido como sendo equivalente a $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

A meia-vida é definida como o intervalo de tempo necessário para que a quantidade de núcleos radioativos de uma amostra se reduza à metade devido ao processo de decaimento. A partir da equação 13, tem-se:

$$R(t_{1/2}) = \frac{1}{2} R_0 \quad (16)$$

$$\frac{1}{2} R_0 = R_0 e^{-\lambda t} \quad (17)$$

Aplicando o logaritmo neperiano em ambos os lados, tem-se

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda T_{1/2} \quad (18)$$

Arrumando o logaritmo e fazendo $\ln(1) - \ln(2) = -\ln(2)$, pois $\ln(1) = 0$

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (19)$$

Isolando λ

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \quad (20)$$

Substituindo na equação 13 e fazendo $e^{\ln(2)} = \frac{1}{2}$, tem-se

$$R(t) = R_0 e^{\left(\frac{-t \ln(2)}{T_{1/2}}\right)} \quad (21)$$

$$R(t) = R_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (22)$$

Vida média: Tempo necessário para que N e R caiam a $1/e \cong 36,8\%$ do valor inicial:

$$\text{Fazendo } \tau = \frac{1}{\lambda} \quad (23)$$

$$R(\tau) = \left(\frac{1}{e}\right) R_0 \quad (24)$$

$$R(\tau) = R_0 e^{-\lambda\tau} \quad (25)$$

Portanto,

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (26)$$

$$T_{1/2} = \ln(2)\tau \quad (27)$$

O resultado é aproximadamente $0,693\tau$

Lei de decaimento: a quantidade de núcleos não-decaídos varia no tempo como a equação 9.

Se N_0 a quantidade inicial e λ é a constante de decaimento (probabilidade por unidade de tempo de cada núcleo decair).

A meia vida expressa pela equação 26 é o tempo para que N(t) caia para a metade do valor inicial.

Na figura 4, em $t = T_{1/2}$ a curva cruza a linha horizontal $N_0/2$; em $t = 2T_{1/2}$ cruza $N_0/4$ e assim sucessivamente:

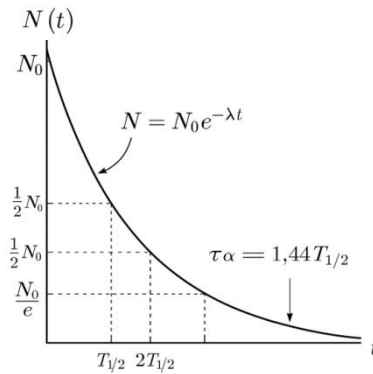
A constante de tempo τ definida por $\tau = \frac{1}{\lambda}$ é o tempo em que N(t) cai para N_0/e .

A relação entre τ e meia-vida é:

$$\tau = \frac{T_{1/2}}{\ln(2)} \approx 1,4427T_{1/2} \quad (28)$$

Por isso a marca N_0/e ocorre um pouco depois de $T_{1/2}$

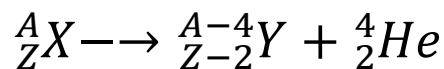
Figura 3- Gráfico de meia-vida



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

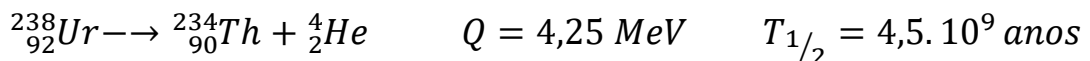
Os núcleos radioativos desintegram-se espontaneamente através de decaimentos alfa e beta, por exemplo.

a) No decaimento alfa, o núcleo inicial X libera uma partícula alfa que nada mais é do que um núcleo de hélio 4 composto por dois prótons e dois nêutrons. Após essa emissão, o núcleo original se converte em um núcleo filho Y.

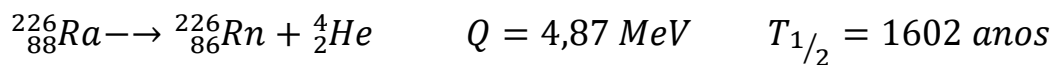


Tem-se como exemplos:

Urânio 238 se transformando em Tório



Rádio se transformando em Rádônio



O decaimento alfa foi interpretado de forma pioneira em 1928 por Gamow, Gurney e Condon, cuja formulação consolidou uma das primeiras aplicações bem-sucedidas da mecânica quântica à física nuclear. Os cientistas demonstraram que a emissão de partículas alfa não poderia ser explicada pela física clássica, uma vez que a energia total da partícula é insuficiente para superar a barreira de potencial gerada pela combinação do poço nuclear e da repulsão coulombiana.

No modelo teórico do decaimento alfa, considera-se que a partícula alfa já se encontra previamente formada no interior do núcleo atômico, onde permanece confinada por uma barreira de potencial associada à interação nuclear e à repulsão eletrostática. Classicamente,

como a energia da partícula é inferior à altura dessa barreira, sua saída do núcleo seria impossível. Entretanto, segundo a Mecânica Quântica, a partícula é descrita por uma função de onda que não se anula abruptamente na região da barreira de potencial. Em vez disso, essa função de onda apresenta uma pequena penetração na região classificada como classicamente proibida. Como consequência, existe uma probabilidade finita de que a partícula atravesse a barreira e escape do núcleo, processo conhecido como Tunelamento Quântico, mecanismo fundamental para explicar o fenômeno do decaimento alfa. A estrutura do potencial nuclear pode ser esquematicamente dividida em três regiões: uma região interna ($r < R$), onde atua predominantemente a interação nuclear forte, confinando a partícula alfa em um poço profundo; a região intermediária, correspondente à barreira de Coulomb ($R < r < r_c$), na qual o potencial:

$$U(r) \approx \frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (29)$$

O termo Z representa o número atômico do núcleo filho formado após a emissão alfa, ou seja:

Antes do decaimento, o núcleo pai tem número atômico Z_{pai}

A partícula alfa leva 2 prótons, então o núcleo resultante terá: $Z_{\text{filho}} = Z_{\text{pai}} - 2$

O potencial $U(r)$ assume valores superiores à energia Q ; e a região externa ($r > r_c$), na qual a energia da partícula lhe permite afastar-se do núcleo caso atravesse a barreira.

O tunelamento decorre do comportamento ondulatório da matéria. A função de onda não se anula na barreira, mas decai exponencialmente segundo:

$$\psi(r) \approx e^{-kr} \quad (30)$$

Sendo:

$$k = \frac{\sqrt{2mU(r) - Q}}{\hbar} \quad (31)$$

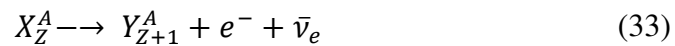
O decaimento beta é um processo nuclear mediado pela interação nuclear fraca, no qual núcleons transformam-se uns nos outros com emissão de léptons. Diferentemente do decaimento alfa, cuja energia é quase totalmente transferida ao núcleo ou partícula emitida, o decaimento beta apresenta um espectro contínuo de energias. Essa característica levou Pauli (1930) a postular a existência do neutrino para garantir a conservação de energia, momento linear e momento angular.

Beta Menos (β^-)

Ocorre quando o núcleo possui excesso de nêutrons. Nesse caso, um nêutron converte-se em próton por meio da interação fraca, emitindo um elétron e um antineutrino eletrônico:



Em termos nucleares:



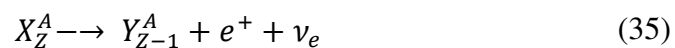
Representa o processo de decaimento beta menos (β^-) de um nuclídeo instável. Nesse tipo de decaimento, um nêutron no interior do núcleo transforma-se espontaneamente em um próton, o que provoca a emissão de um elétron (e^-) e de um antineutrino eletrônico ($\bar{\nu}_e$).

Beta Mais (β^+)

O decaimento β^+ ocorre quando o núcleo possui excesso de prótons. Um próton converte-se em nêutron, emitindo um pósitron e um neutrino eletrônico:



E, para o núcleo:



Para ocorrer espontaneamente, o núcleo deve possuir energia suficiente para criar o pósitron. Pauli propôs o neutrino para resolver o problema do espectro contínuo de energias do elétron no decaimento beta. Posteriormente, Reines e Cowan (1956) confirmaram experimentalmente sua existência. O neutrino possui massa extremamente pequena, interação fraca e carrega parte variável da energia cinética do processo, permitindo a conservação das quantidades físicas fundamentais.

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente investigação caracteriza-se, quanto à sua natureza, como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca produzir conhecimentos voltados à solução de problemas concretos no contexto educacional. Diferentemente da pesquisa básica, que se orienta prioritariamente para a ampliação do conhecimento teórico, a pesquisa aplicada tem como objetivo gerar resultados que possam ser utilizados diretamente na resolução de questões práticas (GIL, 2008). Nesse sentido, este estudo propõe o desenvolvimento, a implementação e a análise de uma sequência didática voltada ao ensino de tópicos de Física Moderna, com ênfase na interação nuclear fraca no ensino médio. Assim, a investigação procura contribuir para a melhoria das práticas pedagógicas no ensino de Física, especialmente no que se refere à inserção de conteúdos da Física Contemporânea na educação básica. Conforme destaca Gil (2008), pesquisas aplicadas são particularmente relevantes quando se pretende intervir em contextos sociais específicos, produzindo conhecimento que possa orientar ações e práticas educativas.

No que se refere aos objetivos, esta pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva. Ela apresenta caráter exploratório na medida em que busca investigar uma articulação ainda pouco explorada no contexto do ensino de Física na educação básica brasileira: a integração entre Aprendizagem Baseada em Equipes, o uso de Inteligência Artificial como recurso pedagógico e o ensino de conceitos relacionados à interação nuclear fraca. De acordo com Gil (2008), pesquisas exploratórias têm como finalidade proporcionar maior familiaridade com determinado problema, tornando-o mais explícito e contribuindo para a construção de hipóteses ou para o aprimoramento de ideias iniciais. Nesse sentido, o caráter exploratório deste estudo está associado à busca por compreender as potencialidades pedagógicas dessa articulação metodológica, bem como seus possíveis desafios no contexto do ensino médio.

Além disso, a investigação apresenta também caráter descritivo, pois busca registrar, analisar e interpretar os fenômenos pedagógicos observados durante a implementação da sequência didática. A pesquisa procura identificar e caracterizar aspectos relacionados às interações em sala de aula, às estratégias de aprendizagem mobilizadas pelos estudantes e às evidências de construção conceitual ao longo do processo de ensino. Segundo Vergara (2009), pesquisas descritivas têm como objetivo principal expor as características de determinado fenômeno ou população, estabelecendo relações entre variáveis ou descrevendo contextos específicos em que os fenômenos ocorrem. Dessa forma, ao analisar as produções dos

estudantes, os registros das atividades e as observações realizadas durante a aplicação da sequência didática, o estudo busca compreender como os estudantes se apropriam dos conceitos abordados e como as estratégias pedagógicas propostas influenciam o processo de aprendizagem.

Quanto à abordagem metodológica, esta investigação adota uma perspectiva qualitativa, pois se concentra na análise dos processos educativos e na compreensão dos significados construídos pelos participantes ao longo da experiência pedagógica. A pesquisa qualitativa caracteriza-se por privilegiar a interpretação dos fenômenos sociais em seus contextos naturais, considerando as interações humanas, os significados atribuídos pelos sujeitos e as múltiplas dimensões da realidade investigada (Denzin; Lincoln, 2006). Nesse tipo de abordagem, o pesquisador busca compreender os fenômenos de forma contextualizada, valorizando a complexidade das situações educativas e a subjetividade dos participantes. Bogdan e Biklen (1994) destacam que a pesquisa qualitativa no campo educacional envolve a análise detalhada de situações específicas, permitindo compreender como os sujeitos interpretam suas experiências e constroem significados no contexto da prática pedagógica.

Além disso, conforme ressalta Minayo (2001), a abordagem qualitativa é particularmente adequada para investigações que envolvem fenômenos educacionais e sociais complexos, nos quais os significados, as percepções e as interações desempenham papel central. No presente estudo, os dados produzidos, tais como registros de observação, produções escritas dos estudantes, respostas às atividades propostas e anotações reflexivas do pesquisador, são analisados de maneira interpretativa, buscando compreender como os processos de ensino e aprendizagem se desenvolvem no contexto da sequência didática implementada.

No que se refere ao método de investigação, o estudo se aproxima da perspectiva da pesquisa-intervenção de caráter didático-pedagógico, na qual o pesquisador participa ativamente do planejamento, da implementação e da análise das ações desenvolvidas no campo investigado. Diferentemente de abordagens estritamente observacionais, a pesquisa-intervenção envolve a proposição e a realização de uma ação pedagógica planejada, permitindo que o processo investigativo esteja diretamente articulado à prática educativa. Segundo Creswell (2014), em pesquisas educacionais de natureza qualitativa, é comum que o pesquisador atue simultaneamente como planejador, observador e intérprete das práticas pedagógicas investigadas, analisando os efeitos das estratégias implementadas no processo de aprendizagem.

Nesse contexto, a intervenção ocorre por meio da aplicação da sequência didática desenvolvida no âmbito da pesquisa, fundamentada em princípios da aprendizagem ativa e na utilização de recursos tecnológicos contemporâneos. A análise dos dados produzidos durante essa intervenção permite compreender como os estudantes interagem com os conteúdos propostos, quais dificuldades emergem ao longo do processo e quais indícios de aprendizagem podem ser identificados. Assim, a pesquisa-intervenção possibilita não apenas a compreensão de fenômenos educacionais, mas também a experimentação de estratégias pedagógicas que possam contribuir para o aprimoramento das práticas de ensino de Física na educação básica.

4.1 DESCRIÇÃO DA PESQUISA APLICADA

A pesquisa foi estruturada como um estudo qualitativo de concepção hipotético dedutiva, implementado no contexto de uma turma de 3^a série do Ensino Médio. A proposta buscou integrar metodologias ativas, como a ABE, ao uso de tecnologias digitais, incluindo a IA ChatGPT®, Notebooklm® e Spotify for Creator.

A aplicação seguiu as etapas da ABE:

- I. Identificação do problema: A dificuldade de ensinar conceitos complexos de Física Moderna, como o Modelo Padrão de Partículas, de forma acessível aos estudantes do Ensino Médio.
- II. Preparação prévia: Estudo independente dos alunos para estabelecer uma base de conhecimentos iniciais.
- III. Garantia de preparo: Realização de testes individuais e em equipe, acompanhados de feedback imediato e discussão orientada.
- IV. Aplicação dos conceitos: Resolução colaborativa de problemas práticos e complexos, com suporte do ChatGPT para pesquisa e análise.

A pesquisa utilizou instrumentos como diários de bordo, questionários individuais e em grupo e auto-relatos para coleta de dados.

A Pesquisa teve como locus o Colégio Estadual Professora Ivaneck Maria Aguiar Costa – Tempo Integral (CEPIMAC), situado na Rua Nova Brasília, SN – Distrito de Porto de Sauipe, no município de Entre Rios, Bahia. A instituição pertence ao Núcleo Territorial de Educação NTE 18 – Litoral Norte e Agreste Baiano, sob o Código INEP 29456495 e Código SEC 1179222.

Figura 4- Imagem da fachada do Colégio Estadual de Tempo Integral Professor Ivaneck
Maria Aguiar Costa



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2024).

No âmbito dos indicadores de qualidade, destaca-se a participação da escola em política estadual de premiação associada ao Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB). Em lista oficial de unidades escolares premiadas pelo desempenho no IDEB, com valor de 3,8 no Ensino Médio, situando a escola em um patamar intermediário dentro da rede estadual.

A pesquisa foi desenvolvida em uma turma da 3ª série ano do Ensino Médio Matutino, com 42 alunos regularmente matriculados, mas com 37 assíduos e com idades entre 16 e 18 anos. Baseado no teste diagnóstico e sociocultural percebeu-se que a turma possui baixa exposição prévia à Física Moderna e dificuldades em trabalhar com conteúdos que exigem abstração, pensamento crítico e cálculos matemáticos, porém também foi diagnosticado interesse por atividades práticas e interativas, como resolução de problemas em equipe e utilização de recursos digitais. Todos os 37 estudantes assíduos declararam possuir smartphone com algum tipo de acesso à internet.

5. O PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido, intitulado Tutorial de Confecção de Videocasts para o Ensino da Interação Nuclear Fraca utilizando Inteligência Artificial, integra os requisitos do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF/UNEB – Polo 60). Trata-se de um recurso didático, que orienta professores na criação de videocasts educativos e reúne um banco com vídeos, livros e atividades voltado ao ensino de FMC e MPPE, com ênfase na Interação Nuclear Fraca, destinado a estudantes da 3ª série do Ensino Médio.

O tutorial que compõe o produto educacional em anexo apresenta, de forma detalhada, o processo de elaboração de videocasts, contemplando etapas de planejamento, roteirização, gravação e edição, com orientações sobre o uso de ferramentas de inteligência artificial como apoio à produção dos materiais audiovisuais. Além disso, disponibiliza um conjunto de aulas multimídias constituído por roteiros, podcasts, mapas conceituais e conteúdos gerados por IA, que podem ser adaptados e aplicados pelos docentes em diferentes contextos de ensino.

Esse material foi concebido como uma ferramenta de suporte pedagógico, com o objetivo de subsidiar o professor na elaboração de aulas mais dinâmicas, na incorporação de recursos digitais acessíveis e na adoção de metodologias ativas, em especial a ABE, cujas bases teóricas e operacionais são apresentadas e discutidas na literatura utilizada.

A proposta também se fundamenta na perspectiva sociocultural de Vygotsky, concebendo o professor como mediador do processo de aprendizagem e as tecnologias de inteligência artificial como artefatos culturais que ampliam as possibilidades de interação e colaboração em sala de aula, potencializando a ZDP dos estudantes.

Figura 5- Atividade em equipe do livro de colorir da experiências Atlas



Fonte: Arquivo pessoal do próprio autor (2025).

5.1 TUTORIAIS DAS FERRAMENTAS DE IA

A incorporação de ferramentas de inteligência artificial generativa, como ChatGPT, NotebookLM e Spotify for Podcasters (anteriormente Spotify Creator), no produto educacional amplia as possibilidades de mediação pedagógica no processo de ensino e aprendizagem. Essas tecnologias permitem a criação de ambientes de aprendizagem mais interativos e personalizados, nos quais os estudantes podem explorar conteúdos, produzir materiais e dialogar com diferentes formas de representação do conhecimento. Nesse contexto, a inteligência artificial não deve ser compreendida como substituta da ação docente, mas como um recurso de apoio que potencializa estratégias didáticas e estimula a autonomia dos estudantes.

De acordo com Pscheidt (2024), a integração da inteligência artificial no ambiente educacional deve ser entendida como um processo de transformação pedagógica no qual a tecnologia atua como aliada do professor, ampliando as possibilidades de criação de experiências de aprendizagem mais dinâmicas e significativas. Para o autor, a utilização dessas ferramentas pode favorecer práticas educativas que estimulem o pensamento crítico, a criatividade e a análise de informações, desde que sua implementação ocorra de maneira consciente e pedagogicamente orientada (Pscheidt, 2024).

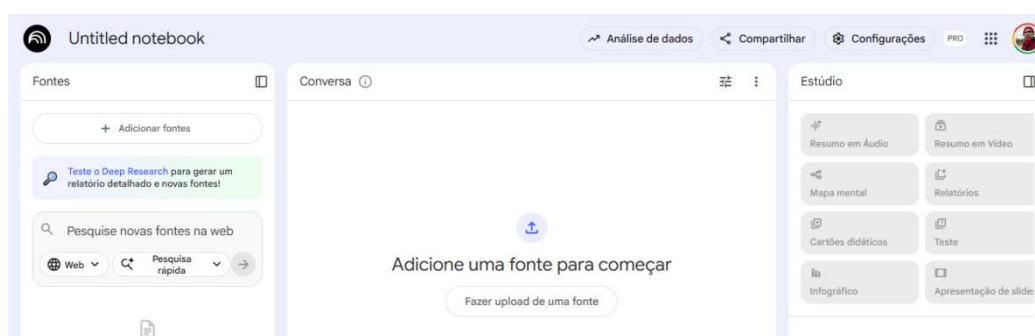
No campo da pesquisa em Inteligência Artificial aplicada à educação, os estudos de Vicari *et al.* (2023) destacam que sistemas inteligentes podem desempenhar um papel importante no apoio aos processos educativos, especialmente ao possibilitar formas de aprendizagem adaptativa, interação mediada por tecnologias digitais e construção colaborativa do conhecimento. O uso de tecnologias baseadas em inteligência artificial pode contribuir para a criação de ambientes educacionais mais flexíveis e responsivos às necessidades dos estudantes, favorecendo novas dinâmicas de interação entre professores, alunos e recursos digitais (Vicari *et al.*, 2003).

Nesse sentido, a utilização dessas ferramentas no produto educacional proposto nesta pesquisa busca explorar o potencial da inteligência artificial como instrumento de mediação cognitiva e pedagógica, capaz de ampliar as possibilidades de investigação, produção de conteúdos e comunicação científica pelos estudantes. Ao integrar recursos de geração de texto, organização de informações e produção de conteúdos multimídia, pretende-se criar um ambiente de aprendizagem que estimule a participação ativa dos alunos e favoreça a construção significativa de conhecimentos no contexto do ensino de Física.

Esse recursotecnológico possibilita a personalização do ensino, ao oferecer explicações ajustadas às necessidades específicas de cada professor. Além disso, a utilização da IA contribui para a democratização do acesso a recursos didáticos sofisticados, incluindo textos, roteiros, podcasts e vídeos, ampliando o alcance e a diversidade dos materiais disponíveis para professores e estudantes.

A IA desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da autonomia dos estudantes, ao incentivar a exploração ativa e crítica dos conteúdos, favorecendo um protagonismo mais efetivo na construção do conhecimento. Por sua vez, o produto fomenta a autoria digital, estimulando tanto alunos quanto professores a produzir seus próprios materiais, o que reforça competências relacionadas à criatividade, comunicação e uso crítico das tecnologias digitais.

Figura 7: página inicial do notebooklm®



Fonte: Notebooklm (2025).

É importante destacar que, no contexto deste produto educacional, a IA não configura uma substituição do professor, mas sim uma ampliação de suas possibilidades instrumentais para a criação de materiais multimodais que atendam a diferentes estilos e ritmos de aprendizagem. Apesar de ser uma tecnologia em constante evolução, a IA ainda não é capaz de apresentar a novas situações algumas habilidades humanas fundamentais, como a adaptabilidade, a criatividade, originalidade e emoções (Vicari *et al*, 2023, p. 55).

O produto educacional desenvolvido no âmbito desta pesquisa consiste em tutorial voltada ao ensino de conceitos relacionados à interação nuclear fraca, articulada ao uso de ferramentas digitais baseadas em inteligência artificial e fundamentada em metodologias de aprendizagem ativa. O material foi concebido com o propósito de oferecer subsídios pedagógicos para professores de Física da educação básica, contribuindo para a inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio de maneira contextualizada e

acessível aos estudantes.

O objetivo principal do produto educacional é disponibilizar um conjunto organizado de atividades, orientações pedagógicas e recursos didáticos que auxiliem o professor na abordagem de conteúdos de Física de Partículas, em especial aqueles relacionados à interação nuclear fraca, promovendo estratégias de ensino que favoreçam a participação ativa dos estudantes, o desenvolvimento do pensamento científico e a compreensão de conceitos fundamentais da Física contemporânea. Além disso, o material busca explorar o potencial de ferramentas de inteligência artificial como recursos de apoio à aprendizagem, ampliando as possibilidades de investigação, produção de conteúdos e discussão conceitual em sala de aula.

Quanto ao público-alvo, o produto foi elaborado prioritariamente para professores de Física do ensino médio, podendo também ser utilizado por docentes em formação inicial ou continuada que desejem explorar abordagens didáticas inovadoras no ensino de Física Moderna. As atividades propostas foram planejadas considerando o contexto curricular da educação básica brasileira, de modo a possibilitar sua adaptação a diferentes realidades escolares.

No que se refere à estrutura, o material está organizado em seções que buscam orientar o professor tanto do ponto de vista conceitual quanto metodológico. Inicialmente, são apresentados os fundamentos teóricos e pedagógicos que embasam a proposta didática. Em seguida, descreve-se detalhadamente a sequência de atividades, incluindo objetivos de aprendizagem, orientações para condução das discussões em sala de aula, sugestões de uso das ferramentas digitais e indicações de materiais de apoio. O produto também inclui uma seção destinada a orientar o professor quanto ao uso pedagógico das ferramentas de inteligência artificial utilizadas nas atividades, reunindo instruções, exemplos de aplicação e recursos visuais que facilitam a familiarização com essas tecnologias no contexto educacional.

Em relação às formas de aplicação em sala de aula, o produto educacional foi concebido para ser implementado de maneira flexível, permitindo sua utilização em diferentes formatos de aula, como atividades investigativas, discussões em grupo e momentos de sistematização conceitual conduzidos pelo professor. A sequência didática pode ser aplicada integralmente ou adaptada de acordo com o tempo disponível, o perfil da turma e os objetivos pedagógicos do docente. Nesse sentido, o material procura oferecer orientações que auxiliem o professor na mediação das atividades, mantendo o protagonismo dos estudantes no processo de construção do conhecimento.

Por fim, destaca-se o potencial de replicabilidade do produto educacional, uma vez que sua estrutura foi planejada de modo a facilitar sua utilização por outros professores interessados em abordar conteúdos de Física Moderna no ensino médio. As orientações apresentadas no material procuram fornecer um roteiro claro para a implementação das atividades, permitindo que docentes de diferentes contextos escolares possam adaptá-las às suas realidades. Dessa forma, o produto educacional busca contribuir não apenas para o desenvolvimento da prática pedagógica no âmbito desta pesquisa, mas também para a disseminação de estratégias didáticas que favoreçam a inserção da Física contemporânea no ensino de Física na educação básica.

A primeira parte contempla o uso do ChatGPT, detalhando o passo a passo para o cadastro, configuração e primeiros acessos. São apresentadas orientações práticas para a utilização da ferramenta na elaboração de explicações, correções de atividades, criação de avaliações diversificadas e roteirização de conteúdos educativos. Destacam-se sugestões metodológicas para maximizar o potencial do ChatGPT como recurso complementar, otimizando o planejamento didático, personalizando a aprendizagem e promovendo a geração de atividades inovadoras e alinhadas à BNCC.

Na sequência, aborda-se o NotebookLM, enfatizando sua aplicabilidade para a criação de vídeos, podcasts, resumos, fichamentos e mapas mentais a partir de materiais disponibilizados pelo docente (livros, artigos e vídeos). O guia instrui como importar arquivos, gerar conteúdos multimídia e organizar informações com o apoio da inteligência artificial, estimulando práticas de leitura, síntese e autoria digital.

Por fim, explora-se o Spotify Creator como ferramenta para hospedagem, edição e publicação de podcasts educacionais. São disponibilizadas instruções detalhadas com imagens ilustrativas, links úteis e etapas para o roteiro de gravação, edição colaborativa e estratégias de compartilhamento seguro e acessível, tanto para professores quanto para discentes.

Em todas as etapas, a seção prioriza o papel do professor como agente mediador, apresentando sugestões metodológicas e exemplos de atividades que articulam teoria e prática, e promovendo reflexões sobre o uso ético e crítico da inteligência artificial no ensino. O material é autoexplicativo e possibilita o desenvolvimento da confiança digital docente e a implementação de recursos inovadores.

5.2 APRENDIZAGEM BASEADA EM EQUIPES

O produto educacional foi delineado de acordo com os fundamentos da Aprendizagem Baseada em Equipes, conforme sistematizados por Michaelsen e detalhados por Krug *et al.* (2016), incorporando princípios essenciais que sustentam a eficácia dessa abordagem: formação de equipes permanentes e heterogêneas; responsabilização individual e coletiva dos estudantes; oferta de feedback imediato e frequente; e proposição de tarefas de aplicação significativas, ancoradas no princípio dos “4S” (significant, same, specific, simultaneous).

Quadro 8- Os 4S da Aprendizagem Baseada em Equipes

4S	Descrição	Explicação
S1 – Significant Problem (Problema Significativo)	O problema deve ser relevante e desafiador.	As equipes precisam trabalhar sobre uma situação real, envolvente e complexa, exigindo análise e decisão.
S2 – Same Problem (Mesmo Problema)	Todas as equipes resolvem o mesmo problema.	Favorece comparação entre respostas e discussões ricas, permitindo confrontar raciocínios.
S3 – Specific Choice (Escolha Específica)	A equipe deve escolher apenas uma resposta.	Estimula argumentação, análise crítica e defesa da decisão.
S4 – Simultaneous Report (Relato Simultâneo)	Todas as equipes apresentam ao mesmo tempo.	Evita influência entre equipes e gera debates autênticos.

Fonte: Adaptado de Krug *et al* (2016).

Segundo Kruget *et al* (2016), a formação intencional de equipes com diversidade de perfis, conhecimentos e experiências é crucial para o desenvolvimento do pensamento crítico e das habilidades colaborativas. A manutenção dessas equipes ao longo das atividades potencializa a coesão grupal e maximiza a aprendizagem significativa. O produto educacional adotou essas diretrizes tanto no planejamento das atividades quanto na organização dos roteiros, buscando assegurar que todos os estudantes sejam corresponsáveis pelo desempenho coletivo e que a heterogeneidade funcione como elemento de enriquecimento pedagógico.

A etapa de garantia do preparo, estruturada em avaliações individuais (iRAT) e em equipe (tRAT), está integrada às trilhas de aprendizagem do produto, proporcionando feedback imediato e promovendo discussões que favorecem a argumentação e o aprimoramento do raciocínio dos estudantes. As tarefas de aplicação, planejadas segundo o princípio dos “4S”, visam criar problemas relevantes e contextualizados, promover escolhas

específicas e estimular a resolução simultânea pelas equipes, ampliando a participação e o debate qualificado em sala de aula.

Por meio dessa convergência com a ABE, tal como discutida por Krug, o produto educacional ancora o uso da IA como ferramenta de mediação e personalização das atividades, sem abrir mão do papel docente. A IA é integrada de modo a potencializar a realização dos princípios pedagógicos da ABE, otimizando o ensino colaborativo, a autonomia dos estudantes e a construção coletiva do conhecimento.

Quadro 9- Avaliação Individual (iRAT) e Avaliação em Equipe (tRAT)

Componente	iRAT – Avaliação Individual	tRAT – Avaliação em Equipe
Objetivo	Verificar o estudo prévio e a compreensão individual dos conceitos fundamentais.	Consolidar o conhecimento por meio de discussão coletiva, promovendo argumentação e consenso.
Formato	Teste individual, geralmente de múltipla escolha.	Mesmo teste do iRAT, porém resolvido em equipe, podendo usar cartões scratch ou plataforma digital.
Tempo Médio	10–15 minutos.	15–20 minutos.
Dinâmica	Realizado individualmente, sem consulta entre colegas.	Discussão em grupo até chegar a uma resposta consensual.
Benefícios	Promove responsabilidade individual e reforça o estudo prévio.	Favorece aprendizagem colaborativa e aumenta a retenção por meio da discussão.
Correção	Correção posterior pelo professor, com feedback geral.	Feedback imediato ao visualizar a resposta correta.
Pontuação	Nota individual que valoriza o preparo prévio.	Nota coletiva que incentiva o trabalho em equipe.
Resultados Esperados	Identificar dificuldades individuais e preparar para a aplicação dos conceitos.	Desenvolver habilidades sociais, argumentação e tomada de decisão coletiva.

Fonte: Adaptado de Krug *et al* (2016).

5.3 A UTILIZAÇÃO DE PODCAST COMO FERRAMENTA TECNOLÓGICA

Neste trabalho foi utilizada a plataforma Spotify for Creators (Disponível em <https://creators.spotify.com>) para o armazenamento e distribuição dos podcasts criados. Essa plataforma foi escolhida por causa da facilidade de acesso, confiabilidade e permite a organização dos conteúdos, criação de capas, dentre outros. Além disso, é um aplicativo gratuito.

Podemos diferenciar do podcast para um programa de rádio. O podcast é um tipo de mídia que não necessita ser transmitida em tempo real, isto possibilita uma flexibilidade maior para acompanhar os episódios (LIZARAZU, 2021, p. 66). Isso torna sua utilização atemporal e permite também receber feedbacks dos estudantes na parte de comentários e também criar enquetes.

5.4 CONTRIBUIÇÕES DO PRODUTO EDUCACIONAL PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

O Produto Educacional desenvolvido nesta pesquisa constitui uma contribuição substantiva para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, especialmente no que se refere à abordagem da Interação Nuclear Fraca e dos conceitos fundamentais do Modelo Padrão de Partículas Elementares. Sua abordagem integrada à metodologia ativa ABE e a ferramentas de Inteligência Artificial amplia o repertório pedagógico disponível ao professor. Ao propor a elaboração de roteiros, tutoriais, vídeos, esquemas conceituais e desafios colaborativos, o produto rompe com a predominância das aulas expositivas tradicionais e convida os estudantes a assumirem o protagonismo na construção do conhecimento científico.

Além disso, o produto educacional ajuda a preencher uma lacuna histórica da FMC no Ensino Médio: a escassez de materiais acessíveis, contextualizados e didaticamente estruturados de acordo com a BNCC sobre partículas elementares e interações fundamentais. A organização do produto em etapas progressivas, como leitura prévia, atividades individuais, testes em equipe, resolução colaborativa, produção de material e comunicação científica cria um ambiente que favorece a mediação social, alinhado aos pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky, especialmente no que diz respeito à Zona de Desenvolvimento Proximal e ao papel das ferramentas culturais como mediadoras da aprendizagem.

A integração com a IA (ChatGPT, NotebookLM e Spotify for Creators) mostrou-se

particularmente produtiva ao permitir que os estudantes tivessem acesso a a materiais confiáveis, com linguagem acessível. Dessa forma, o produto educacional oferece não apenas um modelo replicável para o ensino da Interação Fraca, mas também oferece um desenho metodológico aplicável a outros temas da Física Moderna, como estrutura da matéria e decaimentos radioativos. Assim, sua contribuição se estende para além do conteúdo, constituindo-se como um instrumento de inovação pedagógica e de fortalecimento da cultura digital nas aulas de Física.

6.RESULTADOS

Esta seção relata a aplicação da proposta didática, analisa e discute os resultados apresentados de acordo com o referencial teórico.

Durante a primeira fase da aplicação da Aprendizagem Baseada em Equipes, o projeto partiu da questão chave: Como a utilização da metodologia ativa Aprendizagem Baseada em Equipes aliada à Inteligência Artificial pode contribuir para o ensino da Interação Fraca, promovendo uma aprendizagem colaborativa no contexto do Ensino Médio?

É possível abordar o MPPE, em especial a interação fraca e o decaimento radioativo de maneira mais atraente aos estudantes? Pode uma mídia, tal como o videocast, melhorar o engajamento e o interesse dos alunos pela temática? A partir da criação de vídeos curtos gerados com auxílio de livros paradidáticos, artigos e IA?

6.1 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO EM SALA DE AULA

Um dos desafios associados à utilização das Tecnologias da Informação e Comunicação no contexto escolar consiste em criar um ambiente de aprendizagem no qual os estudantes compreendam que o uso dessas ferramentas não se reduz a momentos de descontração ou a atividades desvinculadas dos conteúdos curriculares da disciplina. Pelo contrário, é fundamental que sua utilização esteja articulada a objetivos didático-pedagógicos claros, contribuindo efetivamente para a construção do conhecimento científico. Nesse sentido, a proposta desenvolvida nesta pesquisa busca integrar o uso de recursos digitais e ferramentas de inteligência artificial às atividades da sequência didática de maneira intencional e alinhada aos conceitos de Física abordados, especialmente aqueles relacionados à Física de Partículas e à interação nuclear fraca.

A literatura sobre o uso de tecnologias na educação destaca que a simples inserção de recursos digitais no ambiente escolar não garante melhorias no processo de ensino e aprendizagem. Segundo José Manuel Moran, o potencial pedagógico das tecnologias depende fundamentalmente da forma como são integradas às práticas docentes e aos objetivos de aprendizagem, exigindo planejamento didático e mediação ativa do professor. De maneira semelhante, Vani Moreira Kenski enfatiza que as tecnologias educacionais devem ser compreendidas como ferramentas que ampliam as possibilidades de interação, investigação e construção do conhecimento, desde que utilizadas de forma crítica e contextualizada no processo educativo.

No campo das metodologias mediadas por tecnologias digitais, José Armando Valente destaca que o uso pedagógico das TIC pode favorecer abordagens de aprendizagem mais ativas, nas quais os estudantes assumem um papel mais participativo na construção do conhecimento. Essa perspectiva aproxima-se da proposta desta pesquisa, que busca utilizar recursos digitais como instrumentos de mediação cognitiva no desenvolvimento das atividades da sequência didática. Além disso, estudos sobre aprendizagem mediada por tecnologias indicam que esses recursos podem contribuir para a criação de ambientes de aprendizagem mais interativos e colaborativos, nos quais os estudantes são incentivados a explorar, discutir e produzir conhecimento (Coll; Monereo, 2010).

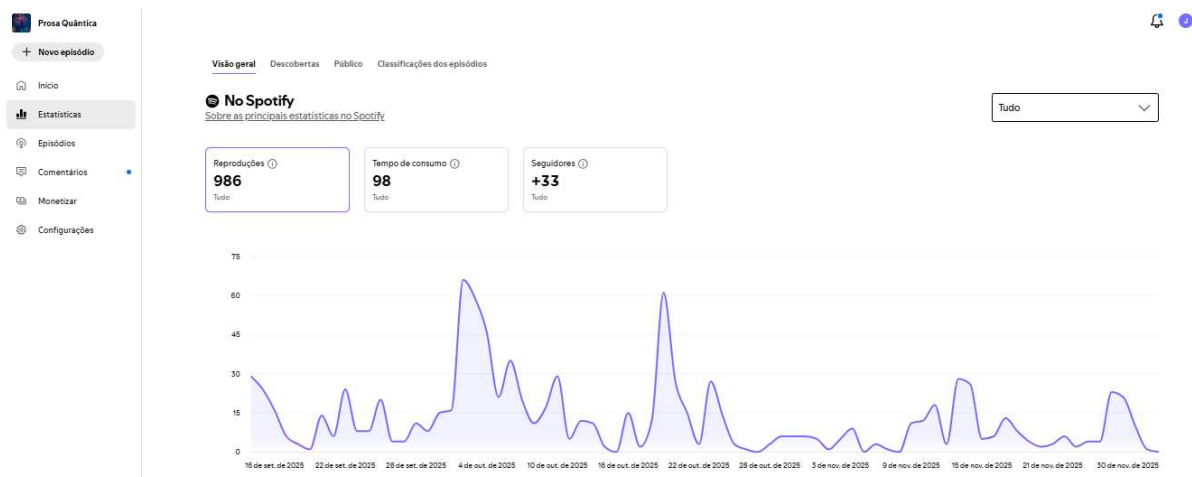
Nesse contexto, a utilização das TIC na proposta pedagógica aqui apresentada busca ultrapassar a dimensão meramente instrumental das tecnologias, integrando-as ao processo de construção conceitual em Física. Conforme destacam Capelari *et al.* (2016, p. 23), quando utilizadas de forma planejada e pedagogicamente orientada, as TIC podem contribuir para a criação de um ambiente de aprendizagem simultaneamente motivador, lúdico e cientificamente consistente: “esses recursos, quando bem aplicados, possibilitam que os professores criem um ambiente motivador, lúdico e ao mesmo tempo científico, fazendo com que seus alunos possam aprender de maneira significativa”. Dessa forma, o uso dessas tecnologias no contexto desta pesquisa busca não apenas ampliar o engajamento dos estudantes, mas também favorecer a compreensão de conceitos científicos complexos por meio de estratégias didáticas que integrem recursos digitais, investigação e discussão conceitual.

Inicialmente, fez-se uma pesquisa sobre tecnologias digitais que possuem potencialidade e viabilidade de inserção em sala de aula, “o uso das TIC no ensino das ciências exatas pode estimular a curiosidade, ampliar a interação aluno-professor de modo participativo e produtivo” (Forbeloni, 2014, p. 26). Seguindo esta proposta, a escolha foi a Inteligência Artificial e os videocasts, principalmente por se tratarem de tecnologias acessíveis em dispositivos móveis, haver disponibilidade gratuita e ser de interesse dos adolescentes.

Os resultados obtidos nesta pesquisa dialogam com a perspectiva apresentada por Pscheidt (2024), que argumenta que o uso pedagógico da Inteligência Artificial só alcança seu potencial quando os estudantes desenvolvem uma postura investigativa diante das respostas geradas pelos sistemas. Segundo o autor, recursos de IA não devem ser utilizados como meros fornecedores de soluções prontas, mas como instrumentos que provocam questionamentos,

hipóteses e validações, favorecendo a aprendizagem ativa. Ele enfatiza que a IA pode ampliar a autonomia intelectual dos estudantes ao permitir que eles experimentem diferentes abordagens explicativas, testem interpretações e comparem informações, desde que haja mediação docente e intencionalidade didática.

Figura 7 - Estatísticas do canal de podcast criado pelo autor



Fonte: soptify creator (2025).

6.1.1 Tutorial

O emprego de videocasts tem se mostrado uma estratégia eficaz em diversas instituições para ampliar o acesso dos estudantes aos conteúdos escolares, especialmente daqueles que enfrentam dificuldades em acompanhar as aulas presenciais. Essa prática evidencia que as tecnologias móveis (m-learning) representam uma importante oportunidade para promover uma educação mais acessível e de qualidade.

A criação de materiais depende da percepção e conhecimento do professor sobre o conteúdo que será apresentado, de modo geral o podcast é desenvolvido com a participação de especialistas, então a forma encontrada para geração desta ferramenta com finalidade educacional foi utilizar artigos científicos, livros paradidáticos, vídeos institucionais e notas de aulas de professores experientes para embasar os videocasts.

A ideia inicial era a confecção de podcasts, mas percebeu-se que o videocast, por trazer imagens e diagramas era mais apropriado como ferramenta didática, outro aspecto importante é a duração dos episódios, neste caso é importante perguntar aos estudantes e pedir para que façam comentários na plataforma.

Figura 8 - Página de comentários do episódio “Borhr: O arquiteto do átomo”

The screenshot shows the Spotify interface for the episode "Borhr: O arquiteto do átomo" under the channel "Prosa Quântica". On the left is a navigation menu with options: "Novo episódio", "Início", "Estatísticas", "Episódios", "Comentários" (highlighted), "Monetizar", and "Configurações". The main content area displays three comments:

- Dudu Aleixo** (4 days ago): "O podcast mostra como Niels Bohr revolucionou a compreensão do átomo com seu modelo de elétrons em camadas. Ele ajudou a criar a base da mecânica quântica e transformou a ciência moderna. O episódio destaca também sua criatividade e a importância de suas ideias para outros cientistas..."
- Thyala Santos77** (4 days ago): "O episódio aborda a crise da física no início do século XX e como Niels Bohr revolucionou a compreensão do átomo com seu modelo inovador." The user's name is "Thyala Santos de Argolo...".
- Rianymagalhaes** (4 days ago): "Esse podcast fala sobre as ideias do cientista Niels Bohr e como ele ajudou a mudar o jeito que entendemos o átomo. Eles explicam de um jeito bem acessível como suas teorias influenciaram a física moderna e mostram por que ele é tão importante para a ciência." A "Traduzir" button is visible.

At the bottom left, there are logos for "for Creators" and a small icon.

Fonte: Spotify for creator (2025).

É importante relatar que o professor deve buscar a melhor forma de distribuir o material criado de acordo com as especificidades de suas turmas. Neste caso a utilização do Google sala de aula foi a escolhida, pois os estudantes já estavam previamente cadastrados para receberem os materiais utilizados no ano letivo. No momento seguinte foi utilizada a própria plataforma Spotify, mas nada impede que se utilize o whatsapp ou outra forma. O importante é que se utilize uma tecnologia que permita o feedback dos alunos a respeito do material.

A grande vantagem de se utilizar IA na confecção dos videocasts está no fato de se economizar tempo de gravação, pois se fosse realizado através do método tradicional, o tempo seria muito maior e isso exigiria também um investimento em equipamentos audiovisuais.

A escolha da plataforma Spotify para a disponibilização dos episódios dos videocasts mostrou-se adequada não apenas por sua ampla popularidade entre os jovens, mas também por dialogar com práticas culturais próprias da cultura digital contemporânea, na qual o consumo de conteúdos em áudio sob demanda tem se tornado cada vez mais presente no cotidiano dos estudantes. Ao utilizar uma plataforma amplamente difundida entre o público jovem, o produto educacional procura aproximar o processo de aprendizagem de ambientes e linguagens com os quais os estudantes já estão familiarizados, favorecendo o engajamento com os conteúdos propostos. Conforme discutem estudos sobre educação e cultura digital, a integração de mídias presentes no cotidiano dos alunos pode contribuir para tornar o processo

de aprendizagem mais significativo, ao estabelecer conexões entre os conhecimentos escolares e as experiências mediadas pelas tecnologias digitais (Kenski, 2012; Moran, 2007).

Além disso, a utilização do formato podcast no contexto da sequência didática também se relaciona com perspectivas de aprendizagem multimodal, nas quais diferentes linguagens e mídias são mobilizadas para favorecer a compreensão de conceitos científicos. Nesse sentido, o uso de recursos em áudio amplia as formas de acesso ao conteúdo, complementando as atividades escritas, as discussões em grupo e os materiais visuais utilizados ao longo da proposta pedagógica. De acordo com Mayer (2009), abordagens que articulam diferentes formas de representação da informação podem favorecer a construção do conhecimento ao estimular múltiplos canais cognitivos no processo de aprendizagem. No ensino de Ciências, essa diversidade de recursos pode contribuir para tornar conceitos abstratos mais acessíveis aos estudantes.

No campo específico da educação científica, pesquisas têm apontado que o uso de podcasts pode constituir uma estratégia pedagógica relevante para ampliar o contato dos estudantes com discussões científicas, estimular a curiosidade investigativa e favorecer a aprendizagem em contextos mais flexíveis (Mckinney; Dyck; Lisman, 2009). A possibilidade de escutar os episódios em diferentes momentos e contextos permite que os estudantes revisitem os conteúdos abordados na sequência didática, ampliando as oportunidades de reflexão sobre os conceitos discutidos em sala de aula. Embora a plataforma ofereça a opção de download dos episódios para escuta offline apenas para usuários com conta premium, os materiais também são disponibilizados no ambiente virtual de aprendizagem utilizado pela turma, como o Google Sala de Aula. Essa estratégia busca garantir maior acessibilidade ao conteúdo, assegurando que todos os estudantes possam acessar os episódios independentemente das limitações impostas pela plataforma comercial, ao mesmo tempo em que integra o recurso ao ecossistema digital já utilizado nas atividades escolares.

6.1.2 Planejamento e Implementação da ABE

A aplicação da ABE foi iniciada com a Fase de Garantia do Preparo, que compreendeu a realização do Teste Individual e subsequente Teste em Equipe. Os resultados quantitativos obtidos nesta fase fornecem um forte indicador inicial da eficácia da metodologia. Foi observado que, em todos os casos analisados, os estudantes obtiveram uma pontuação superior no TeGP do que no TiGP.

O processo de realização do teste em equipe, que exige que os membros exponham e

justifiquem suas respostas buscando um consenso, estimula o ensino e aprendizagem entre os estudantes. A melhoria da pontuação coletiva indica que a discussão, o esclarecimento de dúvidas e a correção de erros mútuos foram bem-sucedidos. O feedback imediato, inerente a esta etapa, é essencial para o desenvolvimento e melhoria da equipe.

Quadro 10 - Resultado dos TeGP e TiGP

GRUPO	Acertoss Grupo (Tegp)	Acertos Estudante 1 (Tigp)	Acertos Estudante 2 (Tigp)	Acertos Estudante 3 (Tigp)	Acertos Estudante 4 (Tigp)	Acertos Estudante 5 (Tigp)	Acertos Estudante 6 (Tigp)
G1	22	09	12	18		18	12
G2	27	-----	27	11	17	22	20
G3	16	12	-----	-----	15	14	-----
G4	24	-----	-----	21	-----	10	17
G5	22	-----	16	04	16	12	14
G6	15	10	10	13	11	10	-----

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A análise do Quadro 10 evidencia um padrão consistente nos resultados obtidos durante a fase de Garantia do Preparo da Aprendizagem Baseada em Equipes. Observa-se que, em todos os grupos analisados, a pontuação obtida no Teste em Equipe foi superior às pontuações registradas nos Testes Individuais de Garantia do Preparo. Esse resultado indica que a discussão coletiva e o processo de argumentação entre os membros das equipes contribuíram para a melhoria do desempenho geral, sugerindo que o trabalho colaborativo possibilitou a superação de limitações individuais. Mesmo nos casos em que alguns estudantes apresentaram desempenho elevado no teste individual, o resultado coletivo ainda se mostrou igual ou superior, reforçando a ideia de que o conhecimento construído em equipe pode ultrapassar a capacidade do membro mais bem preparado atuando isoladamente. Esse achado dialoga diretamente com os pressupostos da Aprendizagem Baseada em Equipes, segundo os quais o desempenho das equipes tende a superar o desempenho individual quando há interação estruturada, discussão conceitual e responsabilização coletiva pelas respostas (Michaelsen; Sweet, 2011).

Entretanto, é importante considerar que a implementação da atividade ocorreu em um contexto escolar marcado por desafios logísticos e institucionais que frequentemente atravessam o cotidiano da escola pública. Durante o período de aplicação da sequência

didática, algumas aulas foram interrompidas ou reorganizadas em função da realização de avaliações externas e treinamentos institucionais, como aqueles relacionados ao Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEBE), ao Sistema Baiano de Avaliação Baiano da educação (SABE) e ao uso da plataforma educacional Plural. Essas demandas institucionais, embora relevantes para o monitoramento das políticas educacionais, acabam por reduzir o tempo pedagógico disponível para o desenvolvimento contínuo das atividades planejadas, o que pode interferir na progressão das discussões em equipe e no aprofundamento conceitual pretendido.

Além disso, aspectos relacionados às desigualdades de acesso às tecnologias digitais também influenciaram a dinâmica da atividade. Parte dos estudantes relatou depender exclusivamente da infraestrutura digital da escola para acessar materiais on-line, uma vez que não dispõe de dados móveis ou conexão Wi-Fi em suas residências. Esse cenário evidencia a persistência de desigualdades no acesso às tecnologias digitais, frequentemente discutidas na literatura como parte do fenômeno da exclusão ou da desigualdade digital, que impacta diretamente as oportunidades de participação plena na cultura digital contemporânea (Selwyn, 2016; Pretto; Bonilla, 2015). Nessa perspectiva, embora os estudantes estejam inseridos em uma cultura fortemente mediada por tecnologias, as condições materiais de acesso permanecem desiguais, o que exige que propostas pedagógicas baseadas em recursos digitais considerem as especificidades do contexto escolar e socioeconômico dos alunos.

Somam-se a esse cenário outras condições que também interferem no desenvolvimento das atividades, como dificuldades de alguns estudantes em chegar pontualmente à escola ou ausências em determinados encontros, fatores indicados pelos traços apresentados no quadro. Essas situações podem comprometer especialmente a etapa inicial da metodologia, na qual os testes individuais de garantia do preparo são realizados, etapa considerada fundamental para o funcionamento pleno da Aprendizagem Baseada em Equipes. Ainda assim, mesmo diante dessas limitações estruturais e contextuais, os resultados mostram que o desempenho coletivo das equipes manteve-se superior ao desempenho individual, sugerindo que o processo de interação, negociação de respostas e esclarecimento de dúvidas entre os estudantes desempenhou papel relevante na consolidação do conhecimento.

Esses resultados também reforçam a viabilidade da proposta pedagógica desenvolvida no âmbito desta pesquisa, bem como do produto educacional associado, uma vez que demonstram que metodologias ativas podem ser implementadas em contextos escolares reais, mesmo diante de limitações estruturais e institucionais. Como destacam Bacich e Moran (2018), a adoção de metodologias ativas na educação básica exige adaptações às condições

concretas da escola, considerando fatores como infraestrutura, tempo pedagógico disponível e características socioculturais dos estudantes. Nesse sentido, a experiência relatada neste estudo evidencia que, mesmo em cenários marcados por restrições de acesso digital e interrupções no calendário escolar, a organização do trabalho em equipes e o uso de estratégias colaborativas podem favorecer a aprendizagem de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, ampliando as possibilidades de engajamento e construção coletiva do conhecimento científico.

A atividade é composta de 10 questões e o estudante pode atingir no mínimo 10 e no máximo 40 pontos, pois ele tem 4 pontos para distribuir nas alternativas segundo o que reza a cartilha da ABE.

Outro fator importante é que apesar da turma ter 42 estudantes matriculados, 37 são estudantes assíduos e destes, 17 não faltaram às atividades, o que corresponde a 46%. Por isso é importante levar em consideração o tempo de execução da atividade, quanto mais extensa, maior a probabilidade de ausências e comprometimento dos resultados.

A análise do Gráfico 1 apresenta a percepção dos estudantes quanto ao impacto da organização da turma em equipes para a compreensão dos conteúdos abordados durante a sequência didática. Os dados coletados por meio de uma escala Likert indicam que aproximadamente 55% dos estudantes avaliaram positivamente a contribuição do trabalho em equipe para a aprendizagem, enquanto cerca de 20% apresentaram uma posição neutra, e uma parcela menor expressou avaliação negativa. Esses resultados sugerem que a dinâmica colaborativa adotada ao longo da proposta didática favoreceu a compreensão conceitual dos temas trabalhados.

No contexto específico desta pesquisa, que aborda conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, como os processos associados ao decaimento radioativo, a interação entre os estudantes assume papel ainda mais relevante. Tais temas, por sua natureza abstrata e frequentemente distante da experiência cotidiana dos alunos, exigem processos cognitivos mais elaborados de interpretação, argumentação e reconstrução conceitual. Nesse sentido, a Aprendizagem Baseada em Equipes cria condições para que os estudantes discutam suas hipóteses, confrontem diferentes interpretações e construam coletivamente explicações mais consistentes para os fenômenos estudados.

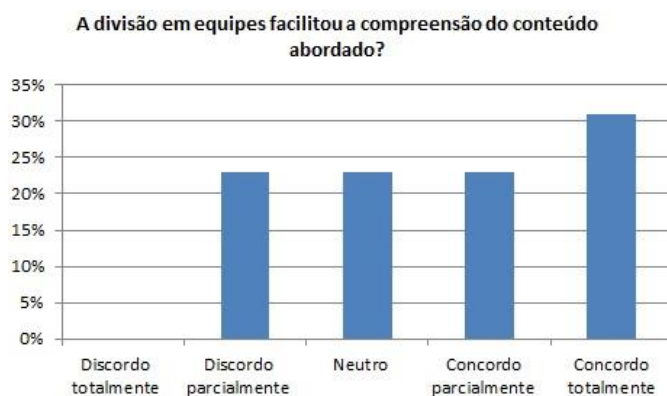
Outro aspecto importante a ser considerado é que o trabalho em equipe esteve articulado ao uso de recursos digitais e multimodais presentes no produto educacional desenvolvido nesta pesquisa, especialmente os episódios de podcast disponibilizados na plataforma Spotify e os materiais de apoio produzidos com auxílio de ferramentas de

inteligência artificial, como ChatGPT e NotebookLM. Esses recursos foram utilizados como elementos mediadores das discussões em grupo, permitindo que os estudantes acessassem explicações complementares, narrativas científicas e diferentes formas de representação dos conceitos físicos.

A presença desses materiais multimodais contribuiu para ampliar as possibilidades de interação com o conteúdo, favorecendo momentos de escuta, debate e retomada conceitual durante as atividades em equipe. Assim, o podcast não foi utilizado apenas como recurso expositivo, mas como disparador de discussões coletivas, incentivando os estudantes a mobilizarem argumentos e interpretações ao longo das tarefas propostas.

Dessa forma, os resultados apresentados no Gráfico 1 sugerem que a combinação entre metodologias ativas de aprendizagem, como a ABE, e recursos digitais baseados em cultura midiática contemporânea, como podcasts e ferramentas de inteligência artificial, contribuiu para tornar o processo de aprendizagem mais participativo e significativo. Tal articulação reforça o potencial do produto educacional desenvolvido nesta dissertação como estratégia pedagógica viável para o ensino de conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio, especialmente em contextos escolares que buscam integrar cultura digital, colaboração e construção coletiva do conhecimento científico.

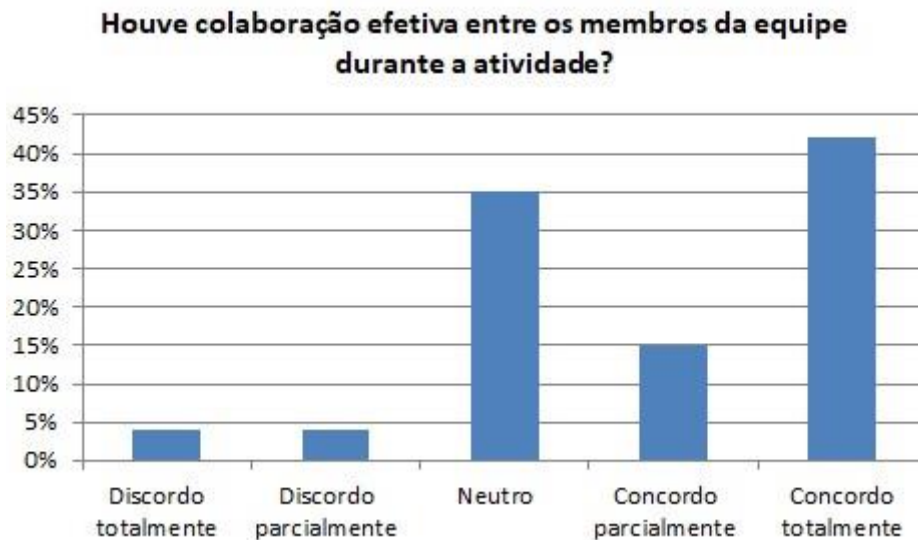
Gráfico 1 - Impacto da Divisão em Equipes na Compreensão do Conteúdo



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O gráfico 2 reforça a análise a respeito da potencialidade da ABE e abre espaço para aprimoramentos no ambiente colaborativo. Os resultados sugerem que poucos perceberam uma ausência de participação ou cooperação dos colegas. Algo relevante a ser analisado é a alta porcentagem de neutros, o que pode reforçar a ideia de se explicar o papel de cada um na equipe, delegar tarefas por parte de uma liderança, heterogeneidade do grupo e diferentes percepções do que se entende como engajamento e colaboração.

Gráfico 2 - Percepção sobre a colaboração em equipe



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O gráfico 3 reforça e corrobora o que a literatura em aprendizagem multimídia indica, a utilização de diferentes modos de representação favorece a construção de modelos mais solidificados. A utilização conjugada de videocasts, livro de colorir e IA podem ter favorecido a assimilação de alguns conceitos, porém o mais importante é que ao diversificar o material didático, é oferecido aos estudantes múltiplos caminhos para acessar os conceitos, permitindo que eles selecionem a forma mais adequada para si.

Gráfico 3 - Percepção da utilização de materiais multimídias na compreensão de conceitos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A aplicação da ABE em um contexto de vulnerabilidade socioeconômica demonstrou que a organização social da classe é determinante para o sucesso escolar. A análise individualizada das respostas dos alunos revela como a metodologia transformou a "baixa disposição matemática" em resultados coletivos melhores.

1. A divisão em equipes facilitou a compreensão do conteúdo abordado?

A maioria expressiva dos alunos concordou totalmente que o trabalho em grupo facilitou a aprendizagem. Segundo Zabala (2010), a forma de estruturar os alunos e a dinâmica grupal estabelecem um clima de convivência que pode atender melhor às necessidades de aprendizagem do que o modelo tradicional. Em colégios com nível socioeconômico baixo, o grupo atua como um suporte emocional, onde a "ajuda mútua" (citada manualmente por vários alunos) reduz a inibição diante da matemática.

2. O uso de testes individuais e em equipe contribuiu para seu aprendizado?

Os dados mostram que os alunos valorizaram tanto o TiGP (individual) quanto o TeGP (equipe). Academicamente, essa fase de Garantia de Preparo é o que assegura que o aluno assuma a responsabilidade pelo seu próprio conhecimento antes da discussão coletiva. Os relatos indicam que a discussão no TeGP permitiu que "conclusões fizessem sentido", evidenciando que a aprendizagem entre pares é um motor de retenção superior à aula magistral.

3. Houve colaboração efetiva entre os membros da equipe durante a atividade? Esta questão recebeu avaliações positivas quase unânimes, com comentários como "todos ajudaram como podiam".

Como o clima de solidariedade pode ser avaliado na ABE? A solidariedade na ABE é avaliada não apenas pela percepção subjetiva, mas pela Avaliação por Pares. Esse instrumento permite que os alunos comparem sua autoavaliação com a visão dos colegas, desenvolvendo impressões precisas sobre suas habilidades de cooperação. Além disso, Zabala (2010) sugere que a solidariedade é vivida quando o sucesso de um membro implica o sucesso dos demais, renunciando à competição habitual e focando na potencialidade do grupo como apoio emocional.

4. O uso de recursos como ChatGPT, vídeos ou quadrinhos ajudou na compreensão dos conceitos?

O Chatgpt® atua como uma ferramenta mediadora que oferece a "ajuda necessária" para que o aluno percorra a distância entre o que consegue fazer sozinho e o que pode atingir com suporte. Segundo Vygotsky, o aprendizado ocorre quando se dá ao indivíduo o "primeiro passo da solução" ou uma orientação que permite resolver problemas mais difíceis. O Chatgpt®, ao fornecer explicações adaptadas ao ritmo do aluno, funciona como esse "outro mais capaz", criando Zonas de Desenvolvimento Proximal e incentivando a atividade mental autoestruturante.

5. Você se sentiu motivado(a) a participar das discussões e resolver os problemas propostos?

Mesmo em um cenário de "baixa motivação", a ABE conseguiu engajar os estudantes. Isso ocorre porque a metodologia parte de situações-problema reais. Zabala explica que a motivação surge quando o conteúdo é funcional; o aluno vê sentido no esforço porque ele é necessário para a resolução de um desafio coletivo alcançável.

6. Autoavaliação: Como você avalia sua participação e contribuição na atividade em equipe? Os alunos demonstraram honestidade e senso de responsabilidade, com notas variando de 7 a 10 e comentários como "contribuí 99%". A autoavaliação é essencial para que o aluno adquira estratégias metacognitivas, tornando-se consciente de seu processo de construção do conhecimento.

7. Avaliação do Grupo: Como você avalia o desempenho e a colaboração do seu grupo durante a atividade? As respostas manuais como "a união faz a força" (Pág. 19) e "todos participaram igualmente" (Pág. 10) confirmam que a coesão do grupo foi atingida. A ABE promove o pensamento crítico e o raciocínio clínico, competências que afloram quando o grupo se sente corresponsável pelo resultado final.

7.Considerações Finais

A presente pesquisa teve como objetivo geral investigar as potencialidades da Aprendizagem Baseada em Equipes no ensino de Física Moderna e Contemporânea, especificamente no tratamento conceitual da dualidade onda-partícula, por meio da aplicação de uma sequência didática apoiada por recursos digitais, incluindo um produto educacional estruturado em formato de podcast integrado a ferramentas de inteligência artificial. A questão norteadora que orientou o desenvolvimento deste trabalho buscou compreender de que maneira a implementação dessa abordagem metodológica poderia favorecer processos de aprendizagem mais ativos, colaborativos e significativos no ensino de conteúdos tradicionalmente considerados abstratos no contexto da educação básica.

Os resultados obtidos ao longo da investigação indicam que a metodologia ABE apresenta potencial relevante como estratégia didática para o ensino de conceitos de Física Moderna e Contemporânea. Ainda que a avaliação da aprendizagem tenha sido conduzida predominantemente sob uma perspectiva qualitativa, foi possível identificar evidências de avanço conceitual, maior envolvimento nas discussões em grupo e ampliação das interações entre os estudantes durante as etapas da sequência didática. Esses elementos corroboram perspectivas teóricas que defendem o papel central da interação social na construção do conhecimento, como destaca Vygotsky (2007), ao afirmar que o desenvolvimento cognitivo ocorre de forma mediada pelas relações sociais e pelos instrumentos culturais presentes no ambiente de aprendizagem.

No que diz respeito à mensuração da efetividade da metodologia ABE, observa-se que, em contextos educacionais caracterizados por múltiplas variáveis pedagógicas, a avaliação não deve restringir-se apenas ao desempenho quantitativo em testes ou atividades individuais. A efetividade pode ser percebida também a partir de indicadores qualitativos, tais como o nível de participação nas discussões coletivas, a capacidade de argumentação dos estudantes e a mobilização de conceitos científicos em situações-problema. Nesse sentido, a proposta metodológica dialoga com a perspectiva de organização didática apresentada por Zabala (2010), para quem a aprendizagem significativa depende de sequências de atividades articuladas que favoreçam a construção progressiva do conhecimento.

Entretanto, o levantamento realizado revelou um desempenho individual relativamente baixo em algumas etapas avaliativas. Tal resultado pode indicar uma participação ainda limitada dos estudantes nas atividades preparatórias que antecedem os momentos presenciais de discussão em equipe. Esse aspecto evidencia um dos desafios recorrentes na

implementação de metodologias ativas: a necessidade de desenvolver, junto aos estudantes, uma cultura de corresponsabilidade no processo de aprendizagem. Conforme argumenta Moran, metodologias ativas demandam mudanças tanto na postura docente quanto na atitude dos estudantes, exigindo maior autonomia, engajamento e compromisso com as etapas prévias de estudo.

Em relação ao tempo previsto para aplicação da sequência didática, verificou-se que, embora tenha sido possível desenvolver as atividades planejadas, alguns momentos de discussão e aprofundamento conceitual poderiam ter se beneficiado de maior tempo pedagógico. Conteúdos relacionados à FMC frequentemente requerem mais espaço para exploração conceitual, analogias e construção de modelos interpretativos, sobretudo quando os estudantes entram em contato pela primeira vez com ideias que desafiam a intuição clássica. Ainda assim, o tempo disponível mostrou-se suficiente para evidenciar o potencial da abordagem adotada e para fornecer subsídios importantes à análise pedagógica proposta nesta pesquisa.

Outro aspecto relevante refere-se às dificuldades encontradas durante a aplicação do produto educacional. Entre elas, destacam-se o desafio inicial de adaptação dos estudantes à dinâmica da metodologia ABE, a necessidade de orientação mais detalhada sobre as etapas preparatórias e as limitações relacionadas ao tempo de aula. Essas dificuldades, entretanto, também constituíram oportunidades de reflexão pedagógica e contribuíram para o aprimoramento do material desenvolvido. Nesse sentido, o processo de implementação permitiu identificar pontos de ajuste na organização das atividades, na mediação docente e na integração entre os recursos digitais e os momentos de interação presencial.

No que se refere ao feedback sobre o produto educacional, as percepções coletadas ao longo da aplicação indicaram boa receptividade por parte dos estudantes em relação ao uso do podcast e das ferramentas de inteligência artificial como suporte ao estudo prévio. Esses recursos demonstraram potencial para ampliar o acesso aos conteúdos e favorecer diferentes formas de engajamento com o material didático. A utilização de mídias digitais alinhadas à proposta metodológica também dialoga com princípios da aprendizagem multimídia discutidos por Mayer (2009), que destaca a importância de integrar diferentes canais de representação da informação para favorecer a construção do conhecimento.

A partir dessas observações, o produto educacional foi ajustado durante o processo de desenvolvimento da pesquisa, incorporando melhorias relacionadas à organização dos episódios do podcast, à clareza das orientações de estudo e à integração com as atividades colaborativas realizadas em sala. Dessa forma, o produto final apresentado nesta dissertação

não corresponde apenas a um material didático estático, mas sim a uma proposta pedagógica que foi progressivamente aprimorada à luz da prática educativa e do retorno obtido junto aos estudantes.

No contexto mais amplo do ensino de Física no Brasil, esta pesquisa contribui ao apresentar uma proposta didática voltada ao ensino de tópicos de FMC na educação básica, área que ainda enfrenta desafios significativos relacionados à inserção curricular, à formação docente e à disponibilidade de materiais didáticos adequados. Ao integrar metodologias ativas, recursos digitais e estratégias colaborativas de aprendizagem, o trabalho aponta caminhos possíveis para tornar esses conteúdos mais acessíveis e pedagogicamente significativos para os estudantes.

Apesar das contribuições apresentadas, é importante reconhecer algumas limitações da pesquisa. Entre elas, destacam-se o número restrito de participantes envolvidos na aplicação da sequência didática, o tempo relativamente curto de intervenção pedagógica e o caráter predominantemente qualitativo das análises realizadas. Além disso, fatores contextuais específicos da instituição e da turma participante podem ter influenciado os resultados observados, o que limita a generalização direta das conclusões para outros contextos educacionais.

Diante dessas limitações, abre-se um conjunto de possibilidades para pesquisas futuras. Investigações posteriores poderão explorar a aplicação da mesma proposta didática em diferentes contextos escolares, com amostras mais amplas de estudantes e períodos de intervenção mais prolongados. Também se mostra promissor aprofundar a integração entre metodologias ativas e ferramentas baseadas em inteligência artificial, avaliando de forma mais sistemática seu impacto na aprendizagem conceitual em Física Moderna.

Por fim, ao retomar o objetivo geral desta pesquisa e a questão norteadora que orientou seu desenvolvimento, pode-se afirmar que a implementação da Aprendizagem Baseada em Equipes, articulada a recursos digitais como podcast e inteligência artificial, mostrou-se uma estratégia promissora para favorecer processos de aprendizagem mais participativos e reflexivos no ensino de Física Moderna e Contemporânea. Mais do que oferecer respostas definitivas, este trabalho busca contribuir para o debate sobre práticas pedagógicas inovadoras na área de ensino de Física.

Assim, entende-se que a principal contribuição desta dissertação reside na articulação entre teoria pedagógica, prática docente e desenvolvimento de um produto educacional que dialoga com as demandas contemporâneas da educação científica. Em um cenário no qual o ensino de Física frequentemente enfrenta desafios relacionados à abstração conceitual e à

motivação dos estudantes, propostas que promovem colaboração, mediação tecnológica e protagonismo discente podem representar caminhos relevantes para a construção de experiências de aprendizagem mais significativas.

Em síntese, este estudo reforça a ideia de que inovar no ensino de Física não significa apenas introduzir novas tecnologias ou metodologias, mas sobretudo repensar as formas de interação entre estudantes, professores e conhecimento científico. Nesse sentido, a experiência aqui apresentada sugere que a combinação entre metodologias ativas, recursos digitais e reflexão pedagógica sistemática pode contribuir para aproximar os estudantes dos conceitos da Física Moderna, tornando-os não apenas objetos de estudo, mas também ferramentas para compreender o mundo contemporâneo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Mário Roberto Tavares Cardoso de; CALDATO, Milena Coelho Fernandes; BOTELHO, Nara Macedo. Aprendizagem baseada em equipes: do planejamento à avaliação. 1. ed. Belém: Universidade do Estado do Pará, 2021. E-book. ISBN 978-65-00-15775-8.

ALVES, Lyn; MOREIRA, José António (org.). Tecnologias & aprendizagens: delineando novos espaços de interação. Salvador: EDUFBA, 2017.

ANDRADE, R. C. Vídeos potencialmente significativos integrados em uma sequência didática para a introdução da interação nuclear fraca no ensino médio: uma abordagem a partir do decaimento beta. 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2022.

ARENDT, Hannah. Entre o passado e o futuro. Tradução de Mauro W. Barbosa de Almeida. São Paulo: Perspectiva, 1972.

BAHIA. Secretaria da Educação. Documento curricular referencial da Bahia para educação infantil e ensino fundamental. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2022. v. 1.

BASTOS, K. da L.; GONÇALVES, K. M.; CABRAL NETO, J. dos S. Modelo padrão: uma análise dos livros didáticos do PNLD para identificar conceitos relacionados à física de partículas elementares. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 44, p. e20220153, 2022.

BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora. Porto Alegre: Penso, 2018.

BOLLELA, Valdes Roberto et al. Aprendizagem baseada em equipes: da teoria à prática. Medicina, v. 47, n. 3, p. 293–300, 2014.

CALIARI, M. L. Física de partículas: uma abordagem lúdica com uso de jogo de tabuleiro. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal do Espírito Santo, Cariacica, 2018.

CAMADA, Marcos Yuzuru; DURÃES, Gilvan Martins. Ensino da inteligência artificial na

educação básica: um novo horizonte para as pesquisas brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 31., 2020, Online. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2020. p. 1553–1562.

CAMPOS, Luis Fernando Altenfelder de Arruda; LASTÓRIA, Luiz Antônio Calmon Nabuco. Semiformação e inteligência artificial no ensino. Pro-Posições, Campinas, v. 31, e20180105, 2020.

CARVALHO, W. R. de. Utilização do jogo “O caçador de partículas” como ferramenta auxiliar no ensino de física de partículas. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2018.

CAPELARI, Danilo. Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC. 2016. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ensino) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

CHIU, T. K. F. et al. A review of artificial intelligence (AI) in education from 2010 to 2020. Computers and Education: Artificial Intelligence, 2022.

CHIU, Thomas K. F. et al. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. Computers and Education: Artificial Intelligence, v. 4, 2023.

COLL, César; MONEREO, Carles. Psicologia da educação virtual: aprender e ensinar com as tecnologias da informação e comunicação. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CRESWELL, John W. Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FORBELONI, Jacimara Villar. Caderno de práticas pedagógicas e o uso das TICs. Mossoró: EdUFERSA, 2014.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRIFFITHS, David. Introduction to elementary particles. 2. ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

HOLMES, Wayne; BIALIK, Maya; FADEL, Charles. Artificial intelligence in education: promises and implications for teaching and learning. Boston: Center for Curriculum Redesign, 2019.

KENSKI, Vani Moreira. Tecnologias e ensino presencial e a distância. Campinas: Papirus, 2012.

MAYER, Richard E. Multimedia learning. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MICHAELSEN, Larry K.; KNIGHT, Arletta B.; FINK, L. Dee. Team-based learning: a transformative use of small groups. Westport: Greenwood Publishing Group, 2002.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MORAN, José Manuel. A educação que desejamos: novos desafios e como chegar lá. Campinas: Papirus, 2007.

MORAN, José; MASETTO, Marcos; BEHRENS, Marilda. Novas tecnologias e mediação pedagógica. São Paulo: Papirus, 2013.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa 'Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio'. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.

PRETTO, Nelson De Luca; BONILLA, Maria Helena Silveira. Tecnologias digitais na educação: políticas e práticas. Salvador: EDUFBA, 2015.

SELWYN, Neil. Education and technology: key issues and debates. London: Bloomsbury, 2016.

VERGARA, Sylvia Constant. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 12. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

VYGOTSKY, Lev S. Pensamento e linguagem. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, Lev S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes, 2009.

WEINBERG, Steven. What is an elementary particle? *Physics Today*, v. 50, n. 10, p. 17–21, 1997.

WU, C. S. et al. Experimental test of parity conservation in beta decay. *Physical Review*, v. 105, n. 4, p. 1413–1415, 1957.

ZABALA, Antoni; ARNAU, Laia. Como aprender e ensinar competências. Porto Alegre: Artmed, 2010.

Apêndices

Apêndice A–Produto Educacional



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 60

PRODUTO EDUCACIONAL

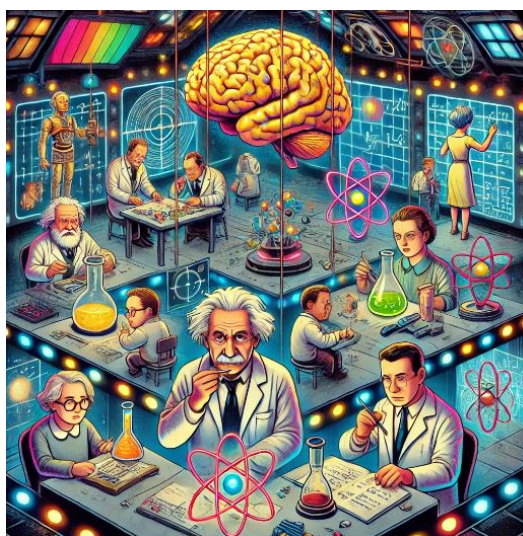
TUTORIAL DE CONFECÇÃO DE VIDEOCAST PARA
ENSINO DA INTERAÇÃO NUCLEAR FRACA
UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

AUTORES: Jorge Lucio Rodrigues das Dores; Jader Cristiano Magalhães de Albuquerque

Salvador
2025

Jorge Lucio Rodrigues das Dores

APRESENTAÇÃO



Caros professores,

É com grande entusiasmo que apresento a proposta “Tutorial de confecção de Videocasts para ensino da Interação Nuclear Fraca utilizando Inteligência Artificial.

Este material foi desenvolvido pensando em vocês, que diariamente enfrentam o desafio de tornar temas complexos, como o Modelo Padrão de Partículas, acessíveis e relevantes para seus alunos.

Este produto educacional foi desenvolvido no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 60 – UNEB / BA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O produto é composto de um tutorial para confecção de videocasts se o professor preferir criar seu material baseado em seus arquivos e um repositório de arquivos, caso o professor deseje utilizar o material disponibilizado.

O objetivo é produzir um tutorial para professores utilizando Inteligência Artificial juntamente com a Aprendizagem Baseada em Equipe (ABE). Esta integração de ferramentas como o ChatGPT®, NOTEBOOKLM para produção de vídeos curtos são elementos centrais desta proposta, que busca engajar os estudantes e desenvolver competências cognitivas e socioemocionais essenciais para o século XXI.

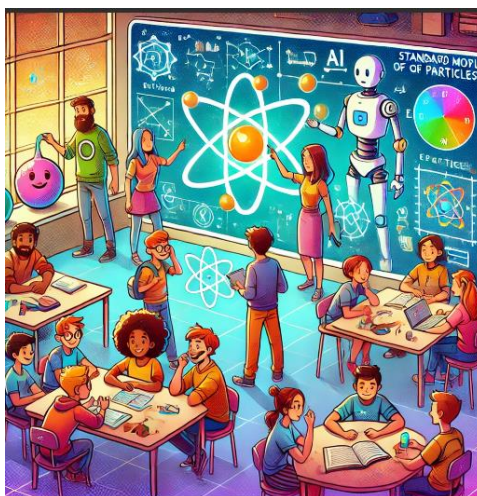
Vocês são os protagonistas dessa jornada. Seu papel como mediadores é fundamental para o sucesso desta iniciativa. Acolham as possibilidades que este material oferece, adaptando-o às especificidades de suas turmas e à realidade de suas escolas.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	99
1.1. A IMPORTÂNCIA DA ABE NO ENSINO DE FÍSICA.....	100
1.2. A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO FERRAMENTA AUXILIAR.....	100
1.3. POR QUE INTEGRAR ABE E IA NO ENSINO DE FÍSICA?.....	100
2. TUTORIAIS CHATGPT®, NOTEBOOKLM® E SPOTIFY CREATOR®.....	102
2.1 CHATGPT	102
2.1.1. Como criar a conta no chatgpt®	102
2.2 NOTEBOOKLM®	104
2.2.1 Como criar uma conta no Notebooklm®	104
2.3 CRIANDO UMA CONTA NO SPOTIFY CREATOR® (SPOTIFY FOR PODCASTERS®).....	105
2.3.1 Como criar uma conta no Spotify for Podcasters®.....	105
3. CONFECÇÃO DE VÍDEOS E PODCASTS	106
3.1. PREPARAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO.....	106
4. CRIAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO	111
4.1 CRIAÇÃO DE VÍDEOS E ÁUDIOS NO NOTEBOOKLM.....	111
4.2 CRIAÇÃO E POSTAGEM DO CONTEÚDO	116
5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO	124
5.1 PARTE 1: INTRODUÇÃO AO PROJETO "EM BUSCA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES"	124
5.2 PARTE 2: APLICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DA INTERAÇÃO FRACA E DECAIMENTO.....	128
5.3 Parte 3: Apresentação dos resultados e discussão	130
REFERÊNCIAS	132

1. INTRODUÇÃO



O tutorial de confecção de videocast para Ensino da Interação Nuclear Fraca utilizando Inteligência Artificial é uma proposta didática que utiliza métodos inovadores para tornar o aprendizado mais alinhado às necessidades do século XXI.

Para Moran (2015), se desejamos formar estudantes proativos, precisamos adotar metodologias em que estes se envolvam em atividades cada vez mais complexas, onde tenham que tomar decisões e avaliar os resultados com apoio de materiais relevantes.

A pesquisa se ampara no tripé Ensino-Tecnologia-Comunicação: a fina relação entre esses três campos de estudo vem sendo desenvolvida na literatura desde que os artefatos tecnológicos começaram a figurar em dispositivos curriculares nacionais como potenciais recursos pedagógicos.

O diferencial desta proposta está na confecção de vídeos (videocasts) a partir de uma base de dados confiáveis (artigos científicos, livros paradidáticos, notas de aulas e capítulos de livros didáticos) e Inteligência Artificial como ferramenta auxiliar na produção, outro diferencial é a postagem em plataforma gratuita para atingir um público mais amplo.

Considerando que a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) incorpora as metodologias ativas no processo de aprendizagem, este trabalho se propõe a aprofundar a exploração dos recursos audiovisuais no ensino, especificamente buscando novas possibilidades de aplicação desse recurso no ensino de Física.

1.1. A IMPORTÂNCIA DA ABE NO ENSINO DE FÍSICA

O trabalho em pequenos grupos na sala de aula, ao incentivar a argumentação e o contato com percepções diversas, pode potencializar a compreensão dos conteúdos. O Aprendizado Baseado em Equipes (ABE), conforme proposto por (Michaelsen, 2004), concentra-se em aprimorar a aprendizagem de conteúdos e desenvolver habilidades de trabalho colaborativo por meio de uma estrutura específica. Essa abordagem envolve várias etapas: os alunos realizam uma preparação individual e em equipe (estudo prévio extraclasse); resolvem questões conceituais em sala de aula; e, por fim, realizam tarefas de aplicação dos conceitos através da resolução de problemas em equipe.

A Aprendizagem Baseada em Equipe é uma metodologia ativa que coloca os estudantes no centro do processo educacional. Por meio de atividades colaborativas e interativas, a ABE promove o desenvolvimento de habilidades como resolução de problemas, pensamento crítico e trabalho em equipe. Essa abordagem é particularmente eficaz no ensino de conceitos abstratos, como os da Física Moderna e Contemporânea, pois permite aos alunos aprender conceitos de forma conjunta, a partir de discussões e retorno imediato.

1.2. A UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO FERRAMENTA AUXILIAR

Com a crescente inserção das tecnologias digitais no ambiente escolar, a Inteligência Artificial desponta como um recurso poderoso para apoiar professores e alunos. Ferramentas como o ChatGPT possibilitam acesso a explicações dinâmicas, simulações e resolução de dúvidas em tempo real. No contexto desta sequência didática, a IA é utilizada como suporte tanto na mediação dos conteúdos quanto na personalização do aprendizado, permitindo que cada estudante explore os conceitos de maneira adaptada às suas necessidades.

1.3. POR QUE INTEGRAR ABE E IA NO ENSINO DE FÍSICA?

A combinação dessas duas abordagens oferece uma experiência rica e multidimensional. Enquanto a ABE foca no engajamento social e na construção coletiva

do conhecimento, a IA amplia as possibilidades de exploração autônoma e oferece recursos inovadores que tornam os conceitos científicos mais acessíveis. Esta integração não apenas facilita a compreensão de temas complexos, mas também prepara os estudantes para os desafios tecnológicos e científicos do futuro.

Convido os professores a explorarem este tutorial, que alia teoria e prática de forma criativa e transformadora, reafirmando o compromisso com um ensino que seja, ao mesmo tempo, rigoroso e inspirador.

2. TUTORIAIS CHATGPT, NOTEBOOKLM E SPOTIFY CREATOR

Este guia foi elaborado para professores da Educação Básica, com foco em aplicações práticas nas áreas de Física Moderna, Modelo Padrão de Partículas elementares e Interações Nucleares. O documento apresenta três tutoriais detalhados, desde a criação de conta até o uso pedagógico.

2.1 CHATGPT

Objetivo: Ensinar professores a criar uma conta, usar e aplicar o Chatgpt® como ferramenta de apoio pedagógico na elaboração de planos de aula, roteiros de vídeo, podcasts e sequências didáticas.

2.1.1. Como criar a conta no chatgpt®

- Acesse <https://auth.openai.com/log-in-or-create-account>
- Clique em uma das opções que aparecem na figura 1;
- Se escolher a opção de endereço de e-mail, confirme o e-mail e acesse o painel principal.

Preencha seus dados: será solicitado que você forneça informações básicas, como nome completo, data de nascimento, e-mail e senha. Certifique-se de usar um e-mail válido, pois você receberá um link de confirmação.

Confirmação de e-mail: verifique sua caixa de entrada (e a pasta de spam, só por precaução) para o e-mail de confirmação. Clique no link fornecido para ativar a sua conta.

Após todas as confirmações, deverá aparecer uma tela semelhante à figura 2.

Figura 1- página de cadastro e login do ChatGPT

Entrar ou cadastrar

Você vai poder aproveitar respostas inteligentes e, além disso, carregar imagens, arquivos e muito mais.

 Continuar com o Google

 Continuar com a Apple

 Continuar com a Microsoft

 Continuar com o telefone

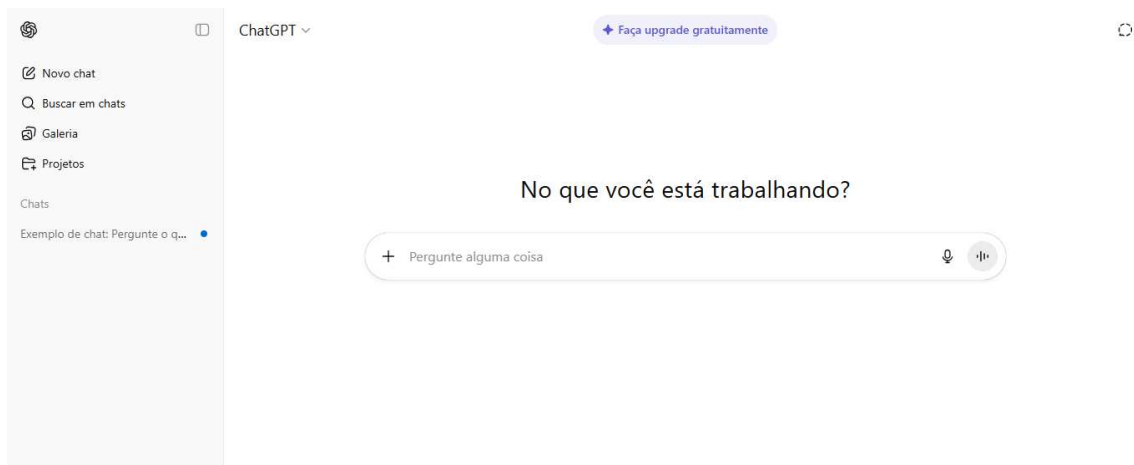
OU

Endereço de e-mail

Continuar

Fonte: Openai (2025).

Figura 2 - Tela inicial do ChatGPT



Fonte: Chatgpt (2025).

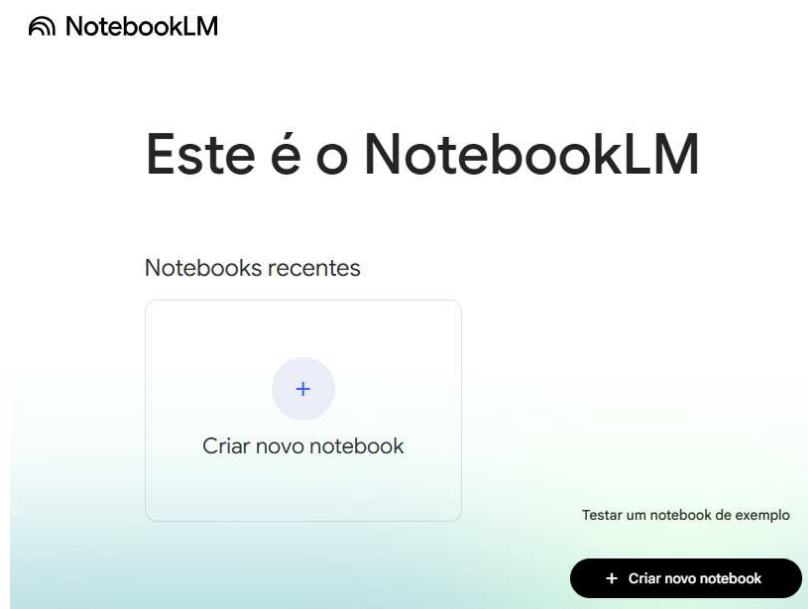
2.2 NOTEBOOKLM

O Notebooklm é uma ferramenta de inteligência artificial desenvolvida pelo Google, seu principal objetivo é transformar textos, artigos, apostilas e documentos em uma base de conhecimento interativa, permitindo ao usuário uma interação com seus próprios materiais, sempre com base nas fontes que foram adicionadas. Diferente de um assistente genérico, o Notebooklm trabalha de forma contextualizada, garantindo respostas precisas e coerentes com o conteúdo original fornecido pelo usuário. No campo educacional, essa tecnologia se destaca por apoiar professores e estudantes na organização do conhecimento, na criação de roteiros, resumos e planos de aula, além de possibilitar o desenvolvimento de podcasts e vídeos educativos.

2.2.1 Como criar uma conta no Notebooklm

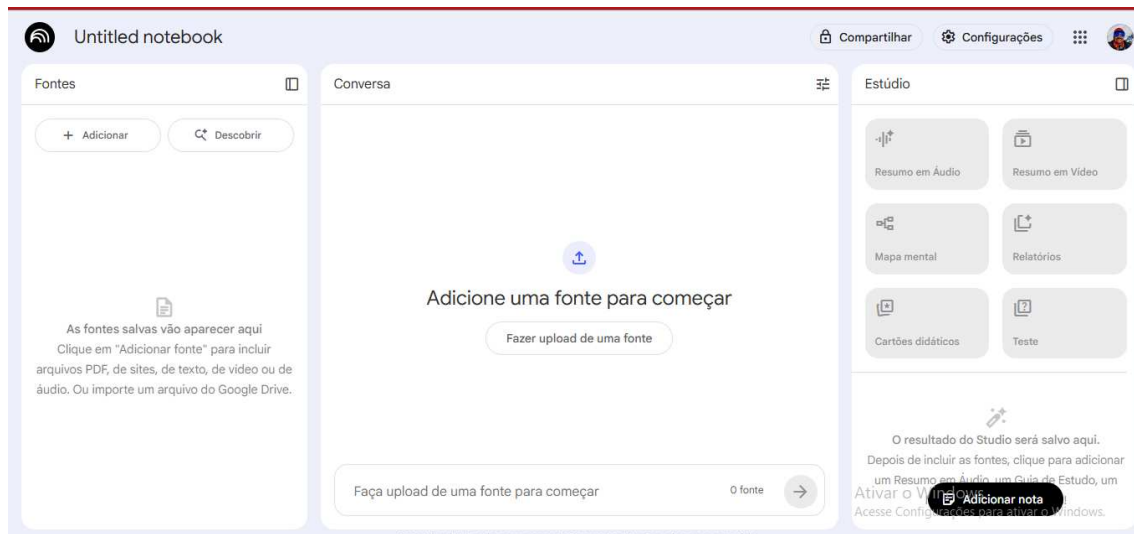
1. Acesse <https://notebooklm.google>
2. Faça login com sua conta Google.
3. Clique em “Criar um novo notebook”.

Figura 3- Página de cadastro do NotebookLM



Fonte: Notebooklm (2025).

Figura 4 - Página inicial Notebooklm



Fonte: Notebooklm (2025).

2.3 CRIANDO UMA CONTA NO SPOTIFY CREATOR® (SPOTIFY FOR PODCASTERS)

O Spotify for Podcasters®, também conhecido como Spotify Creator, é a plataforma oficial para criação, hospedagem e publicação de podcasts no Spotify.

A seguir, um passo a passo simples e didático para que professores e estudantes possam criar suas contas e começar a produzir conteúdos de cunho científico baseado em fontes confiáveis (livros em pdf, artigos científicos, vídeos institucionais, dissertações e teses).

2.3.1 Como criar uma conta no Spotify for Podcasters

Entre no endereço <https://podcasters.spotify.com> e clique no botão “Começar” ou “Entrar” (no canto superior direito da tela).

Faça login ou crie sua conta:

Você pode entrar de três maneiras:

- Com sua conta do Spotify (caso já tenha uma);
- Com o Google;
- Ou com um e-mail novo, clicando em “Inscrever-se”.

3. CONFECÇÃO DE VÍDEOS E PODCASTS

Neste tutorial, voltado para professores da Educação Básica que lecionam Física na 3ª série do Ensino Médio, você aprenderá a criar roteiros, vídeos e podcasts educativos sobre o tema Interação Nuclear Fraca, utilizando a plataforma Notebooklm.

O Notebooklm é uma ferramenta desenvolvida pelo Google que permite, gerar vídeos-aula, resumos, testes interativos, mapas conceituais e podcasts a partir de textos, artigos e materiais didáticos.

3.1. PREPARAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Antes de iniciar no Notebooklm:

1. Reúna textos base: livro didático e paradidático, artigos, vídeos, dissertações ou textos de divulgação científica. No quadro 1 seguem alguns exemplos utilizados neste produto educacional:

Quadro 1- Síntese das obras para gerar os vídeos e podcasts.

Título do Livro	Autor(es)	Resumo (ênfase no MPPE e Interações Nucleares)
Alice no País do Quantum	Robert Gilmore	Obra alegórica que apresenta conceitos da mecânica quântica por meio da jornada de Alice em um mundo subatômico. Introduce a ideia de elétrons, spins, princípios de incerteza e exclusão de Pauli, servindo como uma metáfora para o comportamento das partículas no Modelo Padrão. Destaca como a teoria quântica explica as interações fundamentais, inclusive as nucleares.
Explorando o Universo Invisível	Regivan Silva Ramalho e Farinaldo da Silva Queiroz	Ebook introdutório da UFRN que guia o leitor pelas bases da física de partículas e astropartículas. Explica o Modelo Padrão como o arcabouço teórico que descreve férmions, bósons e as forças fundamentais, incluindo a interação nuclear fraca, responsável por processos como o decaimento beta e reações de fusão no Sol.
Física de Partículas – Um Ebook para Curiosos	Gabriel Henrick B. F. Costa e Letícia Guedes	Apresenta uma introdução simples e didática sobre a física moderna. Explica o papel do Modelo Padrão na organização das partículas fundamentais em quarks, léptons e bósons mediadores (fóton, glúon, W^+ , W^- , Z^0). Mostra como as interações nucleares forte e fraca mantêm a coesão do núcleo e promovem transformações atômicas.
Introdução à Física de Astropartículas	Francisco Emanuel de Souza e Farinaldo Queiroz	Relaciona a física de partículas ao contexto cosmológico. Explica como o Modelo Padrão descreve a formação das primeiras partículas após o Big Bang e como as interações nucleares explicam a nucleossíntese primordial e o equilíbrio energético das estrelas.
Física de Partículas – Uma Breve Introdução	João Heitor e Letícia Guedes	Apresenta o Modelo Padrão como uma “tabela periódica da Física”, explicando férmions (matéria) e bósons

Título do Livro	Autor(es)	Resumo (ênfase no MPPE e Interações Nucleares)
ao Universo em suas menores escalas		(mediadores). Detalha como os quarks formam prótons e nêutrons, e como os bósons W e Z explicam a força fraca e o decaimento beta, essenciais nas reações nucleares e astrofísicas.
Física de Partículas e Astropartículas – Das Altas Energias até o Big Bang	Mickael Vichor Santos de Farias e Ricardo C. S. Rêgo	Discute as bases teóricas da física de partículas, a Lagrangiana do Modelo Padrão e suas aplicações. Apresenta as interações fundamentais (forte, fraca, eletromagnética e gravitacional) e a busca por teorias além do Modelo Padrão. Explica a ligação entre partículas e energia.
Introdução à Física de Partículas e um Prelúdio à Matéria Escura	Yasmim Andrade Diniz e Letícia Guedes	Livro voltado a estudantes de graduação e ensino médio. Explica o Modelo Padrão, a simetria de gauge e a importância das interações nucleares para compreender fenômenos cosmológicos. Relaciona a física de partículas à matéria escura, indicando lacunas do modelo atual.
Introdução à Física de Partículas para Alunos de Licenciatura	Lídia Gabrielly Dutra de Meneses Santos e Farinaldo da Silva Queiroz	Material introdutório para licenciandos. Explica a construção matemática da Lagrangiana do Modelo Padrão, os conceitos de férmions e bósons, e a importância das interações nucleares na coesão da matéria. Apresenta uma abordagem pedagógica sobre a física subatômica.
Partículas para Todos	Alberto Reis	Livro de divulgação científica sobre o mundo microscópico. Apresenta de forma narrativa a evolução da física quântica e das partículas até o Modelo Padrão, incluindo quarks, léptons e bósons. Explica o papel das forças nucleares na estrutura da matéria e a importância dos experimentos de alta energia.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

;

Quadro 2 - Resumo da Série: O Discreto Charme das Partículas Elementares

Título	Resumo do Episódio
Parte 1	Introdução ao LHC (Grande Colisor de Hádrons) e à Teoria do Big Bang, a origem do tempo e do espaço. Apresenta a história do conceito de átomo, de Demócrito a Dalton, e a descoberta do elétron por Joseph Thompson. Define partículas elementares (indivisíveis, compostas por um único elemento). Apresenta o Modelo Padrão (classificando partículas em quarks, léptons e bósons mediadores). Foca na Primeira Família (Quark Up, Quark Down, Elétron) e como os quarks formam prótons e nêutrons. Introduz o Glúon (mediador da força forte) e o Fóton (mediador da força eletromagnética).
Parte 2	Detalha a função do Fóton como um <i>quantum</i> de luz e mediador da força eletromagnética, essencial para a visão. Explica a estrutura do Átomo de Hidrogênio e átomos mais complexos, abordando a competição entre a força eletromagnética (repulsão) e a força nuclear forte (atração, mediada por glúons). Completa a classificação dos Léptons (seis tipos em três famílias, insensíveis à força forte) e dos Quarks (seis tipos em três famílias), incluindo o quark Top, o mais massivo. Menciona o Princípio da Incerteza, que rege o mundo subatômico e impossibilita saber a posição e velocidade de uma partícula com precisão absoluta.
Parte 3	Revisa os quarks e léptons, confirmando que prótons e nêutrons são formados por quarks, mas não são elementares. Detalha os Bósons Mediadores que promovem a interação entre as partículas, como o Glúon e o Fóton. Discute a assimetria matéria/antimatéria e a supressão da antimatéria no início do universo. Cita o brasileiro César Lattes pela descoberta do méson pi (formado por quark e antiquark). Lista as quatro forças fundamentais (Forte, Fraca, Eletromagnética e Gravitacional) e os mediadores da força fraca (W^- , W^+ , Z^0 bosons). Apresenta o Bóson de Higgs, que é proposto para dar massa a todas as outras partículas. Aborda o Modelo Atômico de Bohr e o papel do fóton na emissão de energia

	(espectro de emissão), que permite identificar elementos químicos em estrelas (como Hélio e Hidrogênio no Sol).
Parte 4	Entrevista com os Professores Ela e Caruso. Define um acelerador de partículas como um aparelho científico que acelera partículas carregadas eletricamente (como um tubo de TV antigo) para produzir as que existiam no início do universo. Explica que LHC significa <i>Large Hadron Collider</i> (Grande Colisor de Hádrons) e que um Hádron é uma partícula mantida por interações fortes. Informa que o LHC está localizado no CERN (Suíça/França), no subsolo, para blindagem de radiação e por causa de seus 27 km de circunferência. Descreve o funcionamento: feixes de partículas em sentidos opostos colidem, gerando energia que se transforma em novas partículas detectadas por sofisticados instrumentos eletrônicos. Aborda o risco dos mini buracos negros: eles podem se formar, mas duram apenas $\sim 10^{-43}$ segundos (escala de Planck) e não têm densidade suficiente para devorar a Terra.
Parte 5	Retoma a Teoria do Big Bang como o melhor modelo para explicar a evolução do universo a partir de um ponto ínfimo e quente. Descreve o estado inicial como uma "sopa cósmica quente" e o subsequente período de inflação (expansão mais rápida que a luz). Explica a origem da misteriosa assimetria entre matéria e antimatéria, onde o universo privilegiou a matéria durante a inflação, permitindo nossa existência. Estima a idade do universo em cerca de 13,7 bilhões de anos. Conclui destacando o grande impacto da pesquisa científica na sociedade, citando tecnologias como a internet (WWW), satélites, laser, GPS, tomas (ressonância magnética) e a base de estudos para celulares e iPods.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Abaixo está o quadro que resume o título, o autor (baseado na autoria das figuras históricas ou no tema central) e o resumo de cada episódio, conforme os excertos fornecidos.

Quadro 3- Resumo dos Episódios da Série: A Busca pelo Constituinte Fundamental

Título do Episódio	Resumo do Conteúdo
A busca pelo Constituinte Fundamental (T1E1)	Aborda a pergunta primordial ("Do que somos feitos?") e a origem da filosofia pré-socrática (quatro elementos). Detalha a evolução histórica do modelo atômico: Atomismo de Leucipo e Demócrito, Dalton (bola de bilhar), Thompson (descoberta do Elétron, pudim de passas), Rutherford (modelo planetário) e a correção de Bor (níveis quantizados para estabilidade). Questiona a estabilidade do núcleo, introduzindo a ideia de que prótons e nêutrons são compostos por quarks e glúons.
Quem disse que o átomo é elementar? (T1E2)	Concentra-se na perda do status de "elementar" do átomo. Revisa a descoberta do elétron por Thomson (raios catódicos) e o modelo pudim de passas. Descreve o experimento de Rutherford com a folha de ouro, que levou à descoberta do núcleo atômico e ao modelo planetário. Explica o problema de instabilidade do modelo planetário resolvido por Bor com a postulação de níveis de energia quantizados. Finaliza com a observação do Nêutron por Chadwick em 1932, completando o modelo atômico da primeira metade do século XX, e antecipa que o átomo se revelaria ainda menos fundamental.
Um Zoológico... de partículas elementares (T1E3)	Contrapõe a física tradicional (Newton) com a Mecânica Quântica (partículas) e a Relatividade (altas velocidades). Detalha a ascensão da pesquisa em Aceleradores de Partículas (colisões de alta energia) e Raios Cósmicos. Menciona Hess (1912) e a descoberta de que a radiação vinha do espaço (raios cósmicos). Explica que os raios cósmicos produzem chuviscos de partículas de altíssima energia. A pesquisa resultou na descoberta de centenas de partículas elementares e suas antipartículas no início dos anos 60, levando a uma crise na classificação, pois a ideia de muitos blocos fundamentais era contrária à expectativa de poucos constituintes básicos da

	matéria.
Que as 4 forças fundamentais estejam com você! (T1E4)	Apresenta as Quatro Forças Fundamentais da natureza: Gravidade (extremamente fraca no microscópio, domina no macroscópico); Eletromagnetismo (responsável por eletricidade, magnetismo e luz, atua por causa da carga elétrica); Força Forte (supera a repulsão eletrostática e mantém prótons e nêutrons unidos no núcleo, atuando apenas em distâncias muito curtas, cerca de $\sim 10^{-15}$ m); e Força Fraca (necessária para explicar fenômenos como o decaimento do nêutron, agindo em distâncias ainda menores, cerca de $\sim 10^{-18}$ m). Compara a intensidade das forças e conclui que as interações de força são mediadas pela troca de partículas.
Partículas Elementares. Onde vivem? Quem são? (T1E5)	Classifica as partículas elementares do Modelo Padrão. Divide em Férmions (não podem compartilhar o mesmo estado quântico, obedecem o Princípio de Exclusão de Pauli) e Bósons (transmissores de interações, podem compartilhar o mesmo estado). Férmions incluem os Quarks (seis tipos, interagem fortemente, não existem livres, formam Hádrons e Mésons) e Léptons (seis tipos, não interagem fortemente, ex: elétron e neutrinos). Bósons mediam as forças: Fótons (eletromagnetismo), Glúons (interação forte) e Bósons W e Z (interação fraca). Introduz o Bóson de Higgs (partícula de Deus), responsável por fornecer massa.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O quadro 4 traz que alicerçaram este produto, elas representam o que há de mais atual no ensino do Modelo Padrão de Partículas Elementares (MPPE) e Física Moderna e Contemporânea, com diferentes propostas metodológicas e referenciais teóricos.

Quadro 4 - Dissertações utilizadas na produção dos vídeos

TÍTULO	AUTOR	RESUMO
Vídeos Autorais Potencialmente Significativos Para Introdução Da Interação Nuclear Fraca: Uma Proposta de Sequência Didática a partir do Decaimento Beta	Nilson Silva de Andrade	Propõe uma sequência didática baseada na aprendizagem significativa de Ausubel, para abordar o decaimento beta e a interação nuclear fraca no ensino médio. Desenvolve vídeos educacionais com técnica whiteboard e avalia sua eficácia no aprendizado conceitual em física de partículas.
Utilização do Jogo "O Caçador de Partículas" Como Ferramenta Auxiliar no Ensino de Física de Partículas	Wanderson Rocha de Carvalho	O jogo, dividido em duas fases e baseado em aprendizagem significativa, visa introduzir conceitos como o Modelo Padrão, raios cósmicos e formação da matéria de forma lúdica e interativa. Aplicado a uma turma de 3º ano do ensino médio, demonstrou aumento no engajamento e melhora na compreensão dos alunos sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea.
A Abordagem de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na Primeira Série do Ensino Médio,	Emerson Ferreira Fernandes	Investiga o uso de tecnologias da informação e comunicação (TICs) e recursos de hiperfídia

mediada pelo uso de recursos de hipermídias		para introduzir a Relatividade Especial na 1ª série do ensino médio. Inclui o desenvolvimento do aplicativo Física Espaço e Tempo e uma sequência didática que torna as aulas mais atrativas e participativas.
Física De Partículas no Ensino Médio: Uma Proposta Experimental sobre Partículas Elementares e Radiação Cósmica	Francisco Flavio Ribeiro Viana	Apresenta uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) baseada na construção e uso de uma câmara de nuvens de baixo custo para observação de traços de radiação cósmica. Fundamentada em Paulo Freire e Ausubel, enfatiza a autonomia e a aprendizagem significativa.
Da Descoberta Do Núcleo Ao Bóson de Higgs: Uma Introdução Ao Modelo Padrão de Partículas Elementares com Atividades Virtuais	Ricardo Beal	Criação de uma sequência didática gamificada sobre o Modelo Padrão, com uso de simulações do PhET e uma visita virtual ao detector CMS do LHC. O estudo adota metodologias interativas de gamificação e aprendizagem significativa, com resultados positivos de engajamento.
O Modelo Padrão no Ensino Médio: Um Tratamento Elementar	Roberto Rodrigues Gomes	Propõe uma sequência didática voltada ao ensino do Modelo Padrão da Física de Partículas no ensino médio. O material divide-se em dois blocos: o primeiro revisa os modelos atômicos e o método científico, e o segundo aborda partículas elementares, forças fundamentais e aplicações tecnológicas da Física Moderna. É Baseado na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.
Proposta de inserção de conceitos de Física Moderna mediada pelo ensino de Astronomia	Wanderson Rocha de Carvalho	Desenvolve um jogo educacional digital voltado ao ensino de astrofísica de partículas. O jogo, aliado a uma sequência didática, facilita o aprendizado lúdico de conceitos como quarks, léptons e modelo padrão. Testado com alunos do ensino médio, apresentou melhora na motivação e compreensão dos conteúdos.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

4. CRIAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO

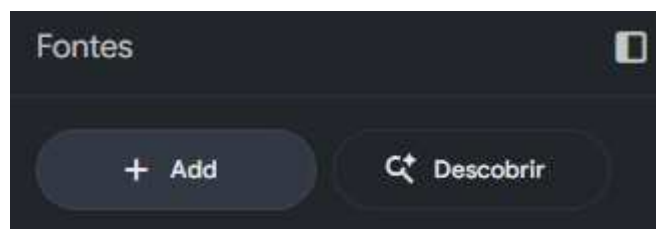
O professor pode optar por elaborar seu próprio material a partir das orientações apresentadas neste tutorial ou, alternativamente, utilizar o repositório disponibilizado pelo autor como ponto de partida para a implementação da proposta. Independentemente do caminho escolhido, espera-se que a utilização do material contribua para potencializar os processos de ensino e aprendizagem. Ressalta-se, entretanto, a importância de que o professor realize as adaptações que julgar necessárias, de modo que o material reflita sua identidade pedagógica e esteja alinhado às características, necessidades e especificidades das turmas com as quais trabalha. Dessa forma, o recurso didático deixa de ser um modelo rígido e passa a constituir-se como um instrumento flexível, passível de ajustes conforme o contexto educacional em que é aplicado.

4.1 CRIAÇÃO DE VÍDEOS E ÁUDIOS NO NOTEBOOKLM

Passo 1: Entre no notebooklm (<https://notebooklm.google.com>)

Clique na parte superior esquerda em +add conforme a figura 5ª para adicionar arquivos do computador ou clique em “Descobrir” para buscar arquivos na internet ou no seu google drive. Caso opte pela internet ou drive, é preciso digitar o tema do conteúdo para que a IA faça uma busca.

Figura 5 - adicionar fonte



Fonte: Notebooklm (2025).

Adicione os arquivos sempre prestando atenção às extensões suportáveis pelo programa

Figura 5B - adicionar fonte



Fonte: Notebooklm (2025).

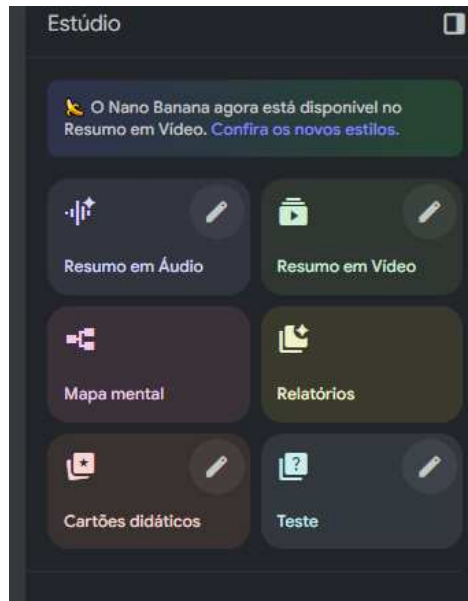
Na figura 5B você terá três possibilidades:

- I. A primeira é fazer o upload de arquivos previamente analisados e do banco de dados deste produto;
- II. A segunda é escolher arquivos próprios;
- III. A terceira é clicar em “descobrir fontes” e a IA fará buscas de arquivos sobre o tema que você escolher na web, caso seja esta sua escolha, basta clicar em “enviar” para a IA selecionar arquivos, veja quais são do seu interesse e clique em “importar”, os arquivos serão alocados na página principal na aba “Fontes” na parte esquerda da tela.

Passo 2: Escolha na parte direita da tela na parte “Estúdio” o tipo de material que deseja criar, eles estão distribuídos em:

- a) Resumo em áudio: Gere um podcast com IA baseado nas suas fontes;
- b) Resumo em vídeo: Gere um vídeo explicativo, apresentado por IA;
- c) Mapa mental: Gere um mapa mental com IA baseado nas suas fontes;
- d) Relatórios: Gere relatórios baseados nas suas fontes;
- e) Cartões didáticos: Gere cartões didáticos com IA baseados nas suas fontes;
- f) Teste: Crie um teste interativo com IA baseado nas suas fontes.

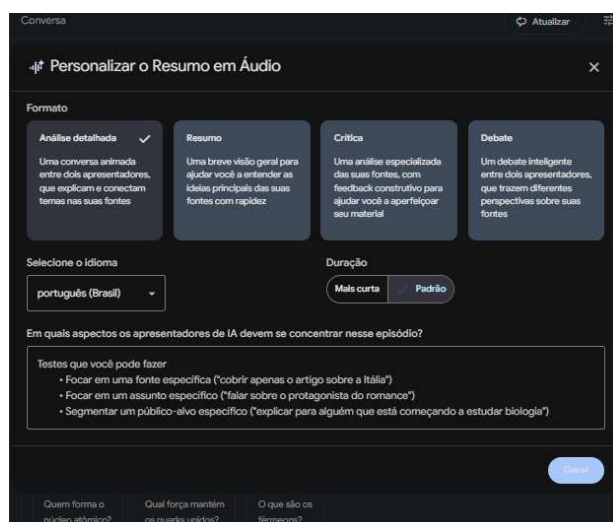
Figura 6 - Aba do estúdio



Fonte: Notebooklm (2025).

Ao clicar no ícone da caneta de cada modelo aparecerá uma aba de personalização, cada quadro possui especificidades e dicas para elaboração do conteúdo, vale frisar que as abas só ficam disponíveis se você selecionar pelo menos um arquivo. A escolha deve se basear no tipo de aula, tempo disponível para execução, perfil da sala e método de aplicação. O ideal é fazer testes com todos os modelos e escolher o que mais se aproxima do esperado.

Figura 6 - Aba de personalização de resumo em áudio



Fonte: Notebooklm (2025).

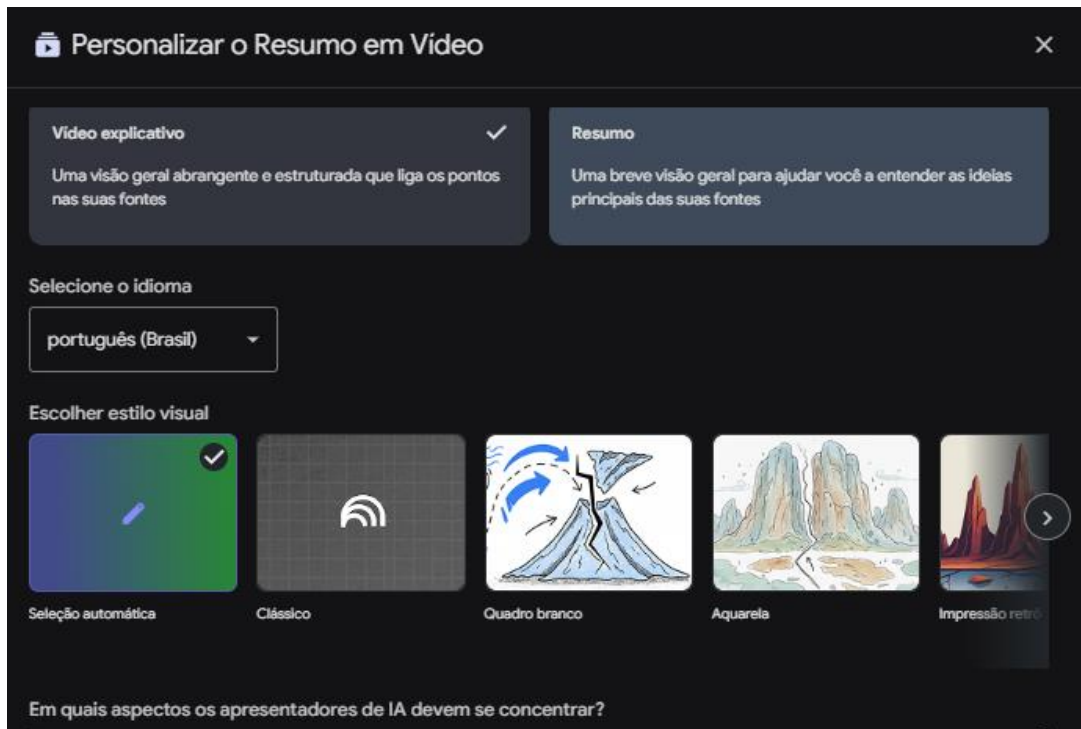
Para elaboração de podcast o ideal é colocar no formato Análise detalhada, se o objetivo é elaborar um material simples para estudo o ideal é resumo, caso haja confronto de ideias, vale a pena escolher debate.

A escolha da duração depende do tipo de atividade, na duração padrão o tempo passa dos 20 minutos e pode chegar aos 30 minutos facilmente, se o material for algo como uma explicação de um tópico ou artigo, o tempo não deve ultrapassar 10 minutos e o ideal é escolher “duração mais curta”.

Se o objetivo é gerar vídeo-aulas a partir do material, então a escolha deve ser pelo modelo “Personalizar o Resumo em Vídeo”, nele há a possibilidade de escolha do tipo de vídeo: explicativo ou resumo, além do estilo visual e idioma. Pode-se também acrescentar e personificar através de comandos na caixa de mensagem.

Após a escolha é só clicar em “gerar” e esperar alguns minutos. É comum demorar até 5 minutos, mas se você desconfiar de que está acima do esperado, pode selecionar a caixa de endereço e acionar a tecla “ENTER” do teclado que a IA finaliza o processo e gera o documento.

Figura 7- Aba de resumo de vídeo

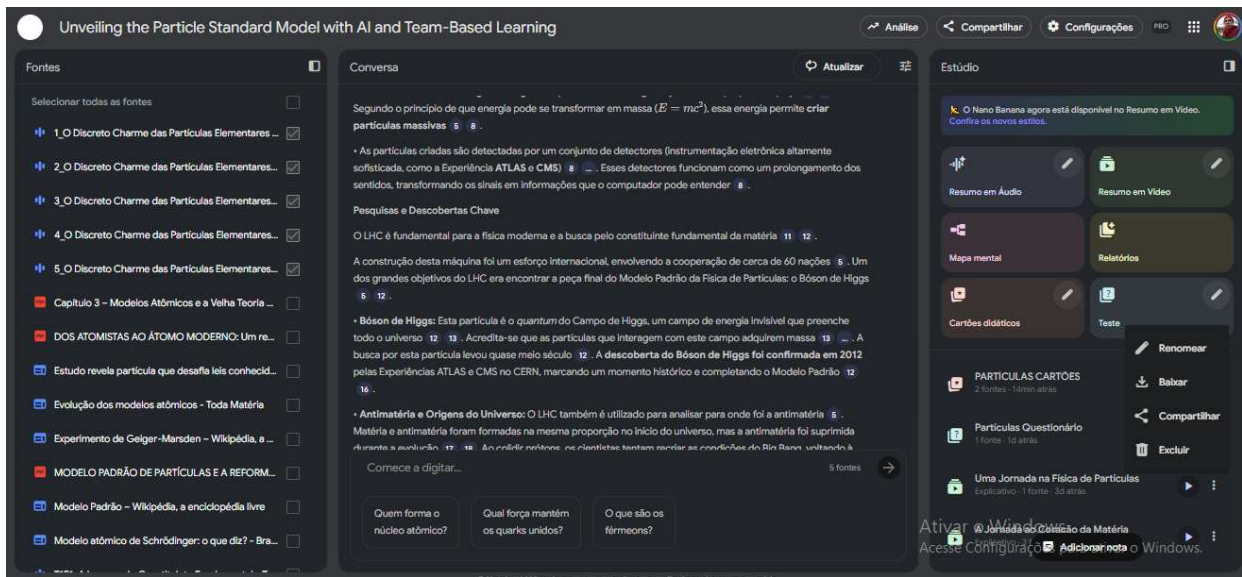


Fonte: Notebooklm (2025).

Após a finalização, o vídeo gerado aparecerá na parte esquerda, clique nos três pontos verticais ao lado do material gerado e escolha a opção baixar ou compartilhar. O formato será mp4, que é suportado pela plataforma Spotify, já os áudios são criados em formato mp3, também suportado pela plataforma de podcasts.

O interessante é que após baixar seu vídeo ou áudio, você pode coloca-los na plataforma como arquivo (seguindo os passos de upload de arquivo) e gerar teste, cartões didáticos ou mapa mental a partir deles.

Figura 8- Aba completa após criação do documento



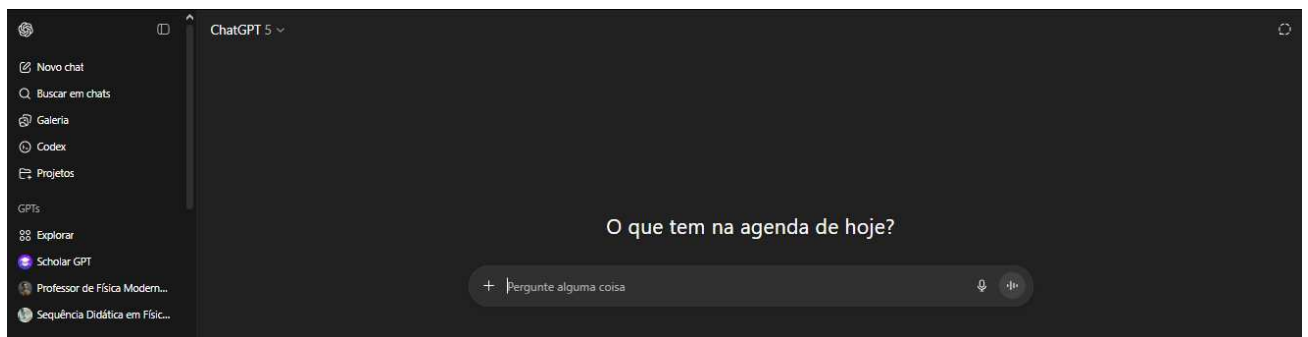
Fonte: Notebooklm (2025).

4.2 CRIAÇÃO E POSTAGEM DO CONTEÚDO

Vamos começar gerando imagens que façam alusão aos conteúdos e que servirão para identificação dos podcasts. Vamos utilizar o Chatgpt para elaboração das imagens, se estiver utilizando a versão gratuita, é bom evitar erros, pois há uma quantidade limitada de pedidos por dia.

1º Passo: Abra sua conta do Chatgpt e na parte superior esquerda clique em “Novo chat”

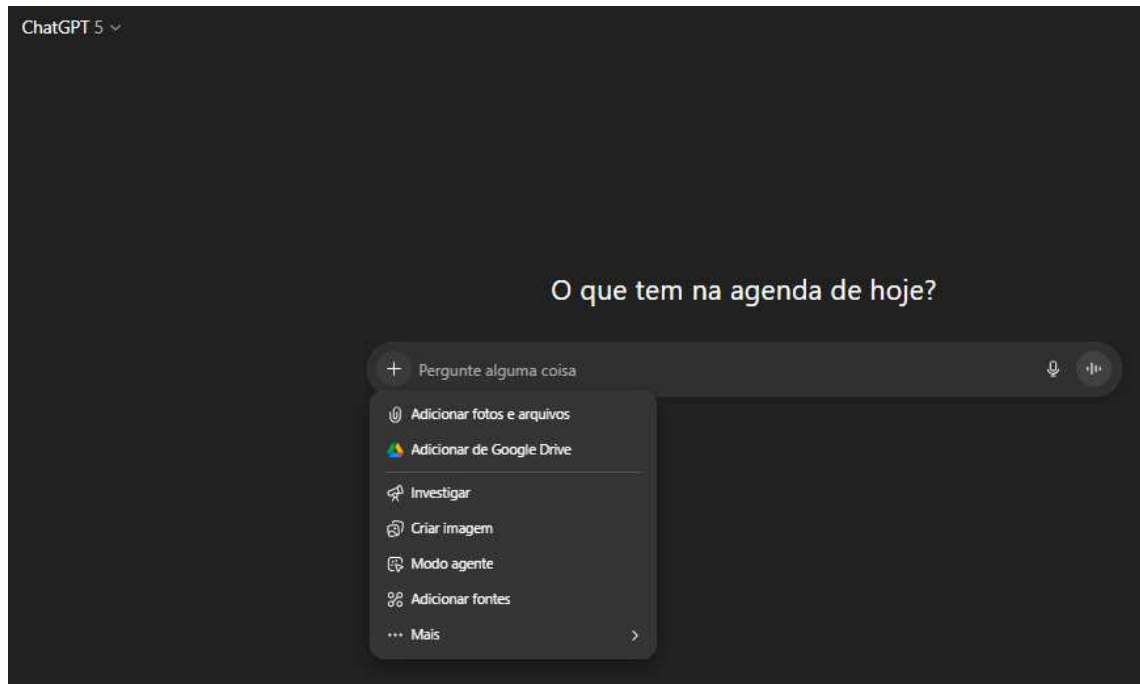
Figura 9- Recorte da tela inicial do Chatgpt



Fonte: ChatGPT (2025).

Na caixa de mensagens, clique no sinal “+” e em “adicionar todos os arquivos”

Figura 10- Caixa para adicionar arquivos



Fonte: Chatgpt (2025).

Selecione o arquivo ou arquivos que será ou serão utilizados no primeiro podcast, em seguida crie um comando para geração da imagem que faça referência ao material utilizado.

Um exemplo utilizado neste projeto foi: “Crie uma imagem que ilustre o tema do arquivo no estilo futuristas com imagens dos personagens no estilo de linha do tempo. A imagem é para o podcast sobre física. A imagem deve ser criativa e em português”.

Quando finalizar, clique no ícone “baixar” localizada na parte inferior esquerda da imagem gerada. Em seguida peça para a IA gerar um pequeno resumo sobre o arquivo para colocar no episódio do podcast. Veja se está de acordo com o arquivo selecionado, pois a IA pode alucinar e buscar na internet, por isso é importante que no comando fique explícito que é para fazer o resumo do arquivo fornecido, você pode reforçar dando o nome do arquivo.

Aproveite que está no ChatGPT e crie também uma imagem para o canal do Spotify. Abra sua conta criada do Spotify for Creator (<https://creators.spotify.com>), clique em “fazer login” e em seguida “continuar com o Spotify”

Figura 11- login do Spotify Creator



Fonte: Spotify Creator (2025).

Na próxima janela clique em “continuar com o google” ou digite seu email, caso escolha digitar o e-mail, um código de verificação de 6 dígitos será enviado para o endereço cadastrado.

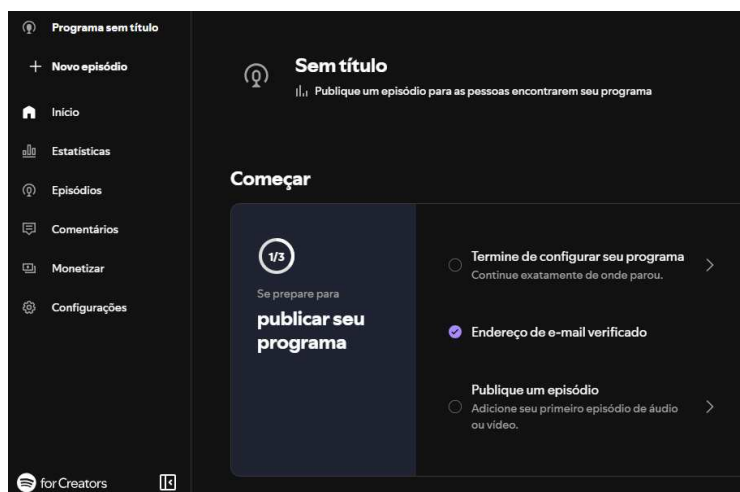
Na página inicial clique em “Terminar de configurar seu programa”, preencha os dados:

Nome do programa; Descrição; Nome do criador (selecione uma categoria, de preferência “educação”); Idioma.

Clique em “próximo” e faça o upload da imagem gerada para o canal, em seguida clique em “concluir”.

Você retornará para a página inicial e agora será a vez de publicar o primeiro episódio. Agora é só selecionar a opção “Publique um episódio” que é a terceira opção.

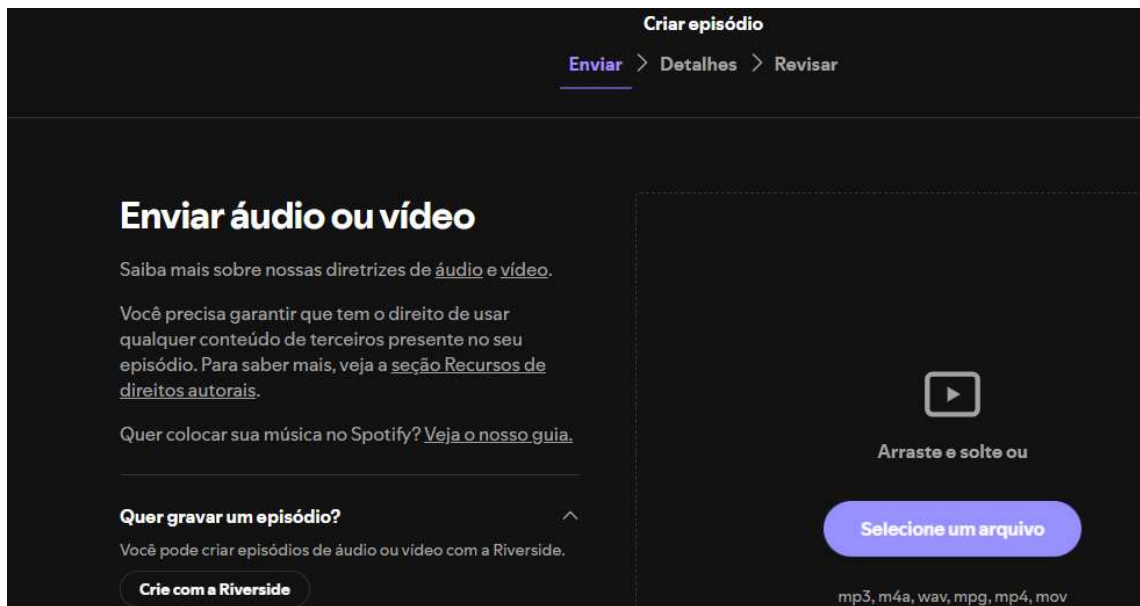
Figura 12- Página inicial do Spotify for Creator



Fonte: Spotify Creator (2025).

Na próxima página aparecerá um botão para “Selecionar arquivo”, clique nele e faça o upload do arquivo de áudio ou vídeo que você gerou no notebooklm, lembre-se de verificar se ele está em uma das extensões suportáveis pelo spotify (mp3, m4a, wav, mpg, mp4, mov).

Figura 13- Página de seleção de arquivos



Fonte: Fonte: Spotify Creator (2025).

Após selecionar o arquivo, surgirá uma janela com as seguintes instruções:

a) Detalhes:

- Título: Colocar o título do vídeo ou áudio
- Descrição: Um pequeno resumo sobre o conteúdo abordado
- Miniatura: Uma imagem que ilustre o conteúdo abordado (escolha a imagem gerada automaticamente no Spotify®)

b) Verificações de conteúdo:

- Somente para maiores de 18 anos (não habilitar)
- Conteúdo explícito (não habilitar)
- Conteúdo promocional (só marcar se tiver patrocínio)

c) Adicionar uma enquete:

- Clique caso queira gerar alguma pergunta a respeito do episódio

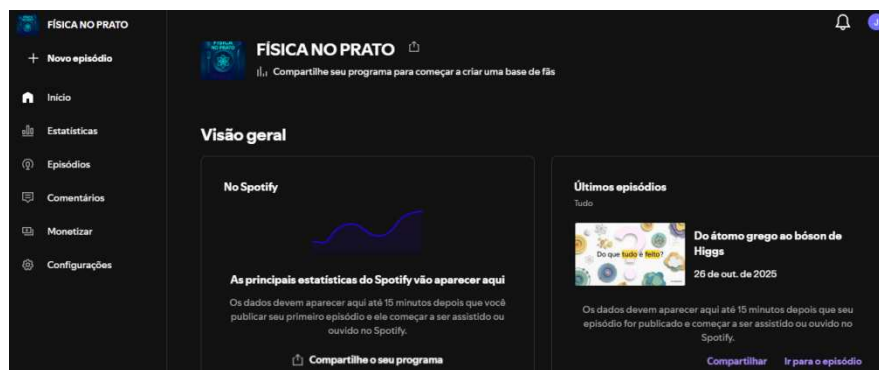
d) Outros detalhes:

- Tipo de episódio: (completo, trailer ou bônus): Coloque completo

- Número da temporada e número do episódio: só coloque caso queira dividir as aulas em vários vídeos, por exemplo as áreas da física
- Configurações do Spotify:
 - Transcrição gerada automaticamente: (fica desabilitado)
 - Capítulos gerados automaticamente: (fica desabilitado)
 - Comentários: (deixar habilitado para os estudantes)

Ao clicar em próximo, aparecerá uma janela com os dados informados, confira se os dados estão corretos, na parte esquerda superior veja o ítem “verificar e publicar”, selecione uma das duas opções: agora ou programar. Agora seu canal está completo e pronto para ser visto, basta clicar em compartilhar, copiar o link e repassar para os estudantes via alguma rede social, grupo de whatsapp ou e-mail.

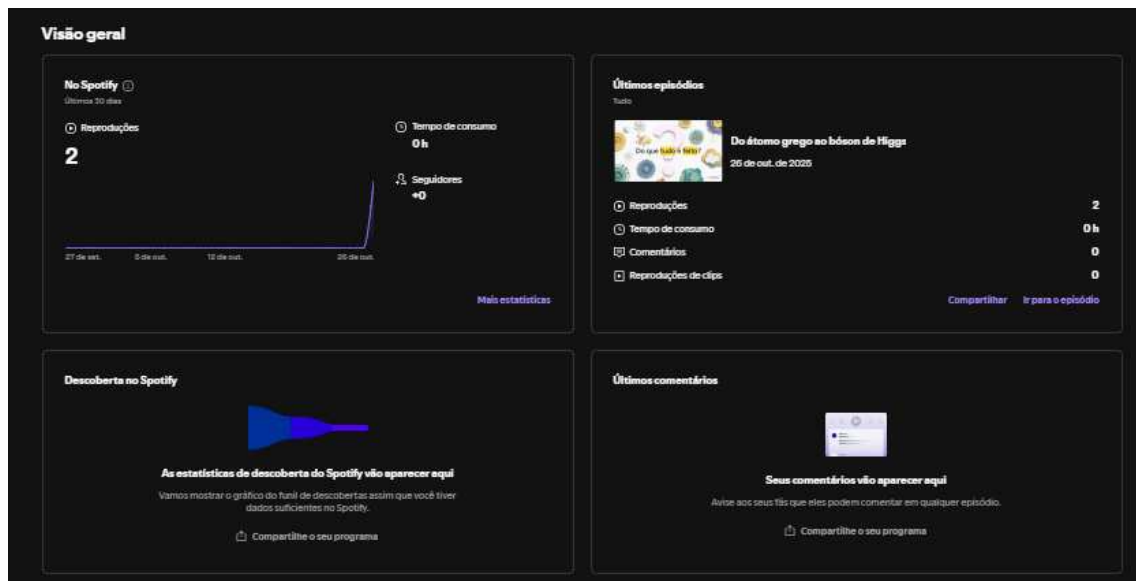
Figura 14- página inicial do canal do autor, FÍSICA NO PRATO



Fonte: Fonte: Spotify Creator® (2025)

Do lado esquerdo tem-se o nome do canal, logo abaixo o link para anexar mais um episódio, abaixo temos o botão início no qual pode-se ver na parte esquerda a visão geral, na qual constam as reproduções nos últimos 30 dias, numero de seguidores, tempo de consumo e comentários.

Figura 15- Aba do inicio do canal



Fonte: Spotify Creator (2025)

A aba “Estatísticas” do Spotify for Creators mostra informações detalhadas sobre o desempenho do seu podcast.

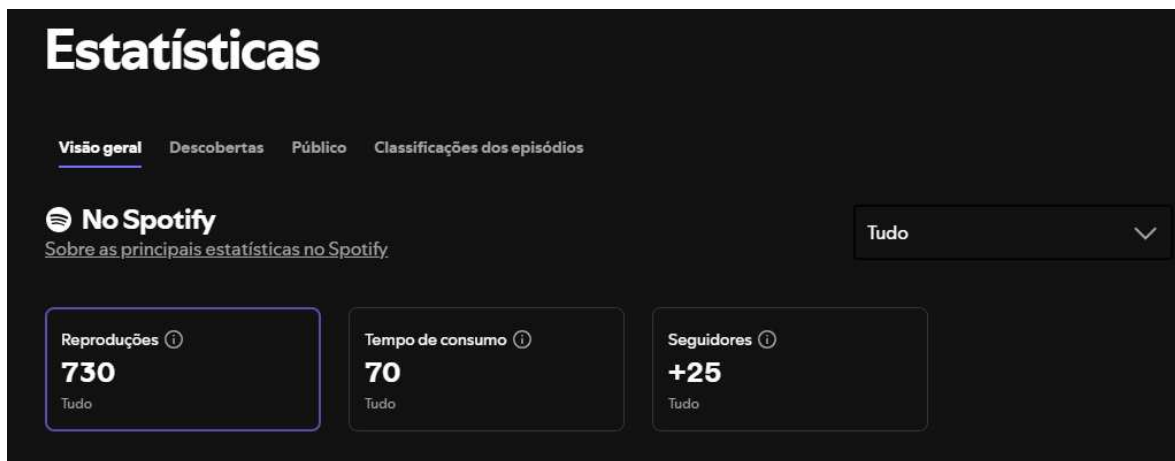
Nela, você pode acompanhar:

- Número de reproduções: quantas vezes cada episódio foi ouvido.
- Ouvintes únicos: quantidade de pessoas diferentes que ouviram o podcast.
- Seguidores: total de pessoas que seguem o programa.
- Tempo médio de reprodução: porcentagem do episódio que os ouvintes escutam antes de sair.
- Gráficos de desempenho: evolução de reproduções e ouvintes ao longo do tempo.
- Perfil da audiência: dados demográficos, como país, idade e gênero dos ouvintes.
- Plataformas e dispositivos: onde as pessoas estão ouvindo (celular, computador, web, etc.).

Essas informações estão distribuídas nos links:

- Visão geral;
- Descobertas;
- Público;
- Classificação dos episódios

Figura 16 - Visão geral das estatísticas do Spotify for Creators



Fonte: Spotify Creator (2025).

Na aba episódios, é possível ver as informações de cada episódio individualmente.

Nela, você pode ver:

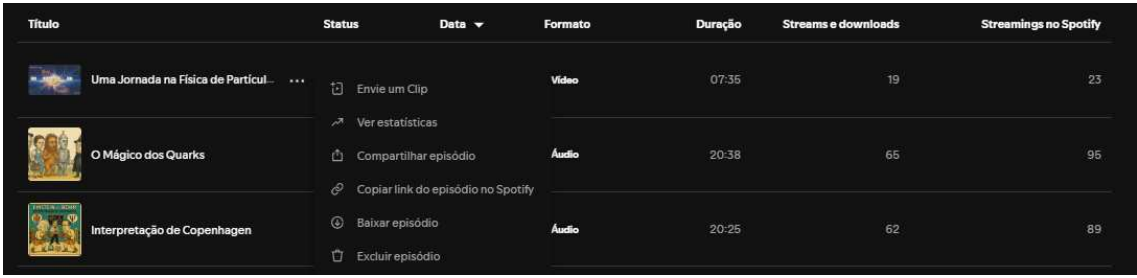
- Lista completa dos episódios publicados (com título, data de publicação e duração).
- Número total de reproduções de cada episódio.
- Tendência de audiência (crescimento, queda ou estabilidade de ouvintes).
- Tempo médio de escuta - quanto do episódio os ouvintes escutam antes de sair.
- Fontes de audiência, indicando se o episódio foi ouvido pelo Spotify, por links externos ou por outras plataformas.
- Gráficos e comparações que ajudam a entender quais temas e formatos geram mais engajamento.

Ao colocar o cursor do mouse sobre o episódio, aparecem três pontinhos horizontais, ao clicar neles aparecem opções para edição do episódio selecionado como mostra a figura 17.

A aba “monetizar” não tem importância para o propósito educacional e também não estará disponível.

Em configurações, pode-se fazer alterações de edição no canal, tais como descrição, nome do criador, arte do programa e outras características.

Figura 17- Aba episódios do Spotify for Creators



Título	Status	Data	Formato	Duração	Streams e downloads	Streamings no Spotify
Uma Jornada na Física de Particul...	Envie um Clip		Vídeo	07:35	19	23
O Mágico dos Quarks	Ver estatísticas		Áudio	20:38	65	95
Interpretação de Copenhagen	Compartilhar episódio		Áudio	20:25	62	89

Fonte: Spotify Creator (2025).

Para otimizar o canal, use os recursos Interativos (Enquetes e "Perguntas e Respostas"), crie enquetes rápidas ao longo dos episódios para testar a compreensão de conceitos-chave da Física Moderna e Contemporânea, pois isso aumenta o engajamento e oferece feedback imediato.

Explore o Formato de videocast, garanta que os recursos visuais (diagramas, gráficos, simulações de mecânica quântica, modelo atômico) sejam claros e adequados para visualização tanto em telas grandes quanto em dispositivos móveis.

Utilize temporadas temáticas organizando o conteúdo em temporadas (ex: Modelo Padrão de Partículas Elementares, Interações Nucleares, Modelos Atômicos) para criar um percurso de aprendizado lógico e sequencial, e utilize vídeos curtos e em série, isso ajuda na apreensão de conceitos complexos.

5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Este plano de aula foi estruturado a partir das três etapas da Aprendizagem Baseada em Equipes, buscando promover a interdependência positiva e a colaboração entre os estudantes ao longo do processo de aprendizagem. Para favorecer a compreensão de conceitos abstratos, foram utilizados como recursos didáticos o videocast produzido a partir do livro de colorir e o próprio livro de colorir, que atuam como materiais mediadores na construção do conhecimento. Essa escolha metodológica está alinhada à perspectiva sociocultural de Lev Vygotsky, segundo a qual a aprendizagem ocorre por meio da mediação de instrumentos culturais e das interações sociais estabelecidas no ambiente educativo.

Todos os materiais estão disponíveis em:

<https://classroom.google.com/c/ODE3MDEyNzY1NzM5?cjc=s7k4rvey>

Ou código da turma:

s7k4rvey

5.1 PARTE 1: INTRODUÇÃO AO PROJETO "EM BUSCA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES"

Objetivos:

- I. Apresentar o projeto "Em Busca das Partículas Elementares";
- II. Introduzir os conceitos iniciais sobre partículas elementares, a evolução dos modelos atômicos;
- III. Incentivar a criatividade e o aprendizado lúdico com o livro de colorir Partículas do Universo: Um Livro de Colorir da Experiência ATLAS.

Figura 18- Capa do livro de colorir



Fonte: Cern Atlas (2025).

Tópico: Modelos Atômicos e Introdução ao Modelo Padrão de Partículas Elementares.

Tempo de duração: 100 minutos (2 tempos de 50 minutos)

Fase 1: Preparação (Atividade em Casa/Pré-Aula)

O preparo é a primeira etapa da ABE, onde se designa a tarefa para estudo fora da sala de aula. Segundo Vygotsky, a instrução deve preceder o desenvolvimento, e o material prévio funciona como andaime para a construção do conhecimento, especialmente dos conceitos científicos.

Quadro 4- Orientações para fase 1

Atividade	Material e Procedimento	Objetivo Pedagógico (Vygotsky/Conteúdo)
Consumo do Videocast	Postagem dos videocasts no Spotify ou no google sala de aula (google classroom) 1. "Do Átomo grego ao Bóson de	Introdução e Visão Histórica: Entender a saga do átomo, desde a especulação filosófica grega até o MPPE, e como a ciência se corrige. Base Sociocultural: O videocast fornece o

	Higgs". 2. "Partículas do Universo".	sistema de signos (conceitos e palavras) necessário para a construção conceitual.
Leitura e Familiarização	Pintura do "Livro de Colorir da Experiência ATLAS": Foco na estrutura do átomo (Núcleo, Prótons, Nêutrons, Elétrons) e nas famílias de partículas (Quarks e Léptons).	Reforço Conceitual: Transformar conceitos abstratos em imagens visuais (uso do material concreto/semi-concreto). Aprender as partículas que formam a matéria (Quarks Up e Down).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O livro de colorir e os episódios estão disponíveis e podem ser acessados através dos códigos da figura 18.

Figura 18 - Códigos de acesso ao livro de colorir e episódios



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Atividade 1: Cada estudante assiste aos vídeos e faz um resumo das partes que julgar mais importante do livro de colorir.

Fase 2: Garantia do Preparo

Esta fase busca assegurar que os alunos adquiriram o conhecimento individualmente no teste de garantia de preparo individual (TiGP) e depois consolidem em equipe no teste de garantia de preparo em equipe (TeGP), com feedback imediato, promovendo a responsabilização individual e do grupo.

Duração: 100 minutos (Aula Presencial)

Materiais Necessários: Formulário de teste individual, formulário para o teste em equipe, placas coloridas de resposta (A, B, C, D) para feedback simultâneo.

Os materiais necessários para desenvolvimento da fase 2 estão disponíveis no link abaixo:

Quadro 5- Lista de materiais para realização do teste 1

Teste 1
Gabarito comentado do teste 1
Ficha de avaliação individual do teste 1
Ficha de avaliação em equipe do teste 1
Livro de colorir
Vídeo "Partículas do Universo"
Vídeo "Do Átomo Grego ao Bóson de Higgs"

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 6- Orientações para fase 2

Tempo	Etapa	Descrição Detalhada
10 min	2.1 TiGP	Os alunos respondem individualmente a 10 questões de múltipla escolha sobre o livro de colorir e os episódios 1 e 2.
20 min	2.2 TeGP	Reunidos em suas equipes permanentes (de preferência ímpares, 5 a 7 alunos), os estudantes discutem e respondem às mesmas questões, buscando um consenso. O feedback deve ser imediato.
15 min	2.3 Revisão do Professor (Fechamento da Garantia)	O professor levanta as respostas da turma para cada questão, discute as dúvidas e reforça os conceitos essenciais que são a base para a próxima fase.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

5.2 PARTE 2: APLICAÇÃO DOS CONHECIMENTOS ACERCA DA INTERAÇÃO FRACA E DECAIMENTO

Fase 3: Aplicação dos Conceitos (100 minutos)

A Fase 3 da Aprendizagem Baseada em Equipes busca evidenciar a Zona de Desenvolvimento Proximal formulada por Vygotsky. Nessa etapa, os estudantes são desafiados a resolver problemas complexos e significativos que exigem interpretações, análises, escolhas específicas e justificativas detalhadas, sempre em interação com seus colegas. Essa estrutura não apenas favorece o engajamento, mas cria as condições ideais para que o conhecimento seja construído coletivamente.

Esta fase visa o aprofundamento e a consolidação dos conhecimentos através da resolução de problemas complexos em equipe. A atividade integra o livro de colorir (material concreto/visual), videocast sobre a interação fraca e vídeo sobre decaimento com a necessidade de raciocínio abstrato sobre suas características e aplicações.

Objetivos:

- I. Apresentar as características da Interação fraca;
- II. Introduzir os conceitos iniciais sobre decaimento e meia-vida;
- III. Reforçar conceitos matemáticos de função exponencial e probabilidade.

Materiais Necessários: Página impressa do livro de colorir "Desenha a tua partícula", lápis de cor, caneta, papel para anotações, dados de 6 faces.

Uma observação importante: O número de dados deve levar em conta a quantidade de grupos, uma quantidade razoável de lançamentos e o tempo disponível para execução da tarefa. Este autor aconselha um mínimo de 24 dados para cada equipe. Vale salientar que quanto maior o número de dados, melhor será o gráfico e a proximidade entre os valores teóricos e práticos.

Quadro 7- Orientações para fase 3

Teste 1
Ficha de avaliação da atividade de decaimento e meia-vida
Ficha de avaliação da atividade sobre o desenho da partícula hipotética
Vídeo “Bohr: O Arquiteto do Átomo”
Vídeo “A Interação Nuclear Fraca”
Vídeo “O Coração do Átomo”

Fonte: Próprio autor (2025).

Quadro 8- Planejamento de Aula: Do Átomo Instável à Força Fundamental

Tempo	Etapa	Descrição e Conteúdo
Antes da Aula	Visualização dos Vídeos	Os estudantes devem assistir aos três vídeos e fazer anotações sobre o que julgar importante.
		Fontes: * Bohr: O Arquiteto do Átomo; * O Coração do Átomo; * A Interação Nuclear Fraca.
15 min	Abertura e Revisão Conceitual	O professor deve fazer conexões entre os conceitos presentes nos vídeos.
35 min	Atividade Simulação de Meia-Vida	1: Introdução da atividade "A Datação do Artefato Perdido". Os grupos recebem os 24 dados, que representam os núcleos de Carbono 14.
		Execução: Os estudantes realizam os lançamentos, removem a os dados que caem com a face "1" voltada para cima (decaimento) e preenchem a Tabela de Dados. Após cerca de 8 a 10 Períodos Arqueológicos (P.A.), eles começam a construção do gráfico do

		decaimento exponencial no papel milimetrado.
15 min	Atividade 1: Análise e Discussão da Meia-Vida	Os grupos usam suas anotações e a fórmula fornecida ($T_{1/2} = \ln(2)/\lambda$) para responder às perguntas de análise.
		Discussão Dirigida: Comparação da Meia-Vida Teórica (calculada) com a Meia-Vida Experimental (lida no gráfico). Discussão sobre a influência da quantidade de dados
15 min	Conexão Teórica: Força Fraca e Decaimento β^-	O professor conduz a discussão das perguntas "Conexão com a Interação Fraca", utilizando as anotações dos vídeos de casa.
		Conteúdo Chave: A Interação Fraca é a responsável pelo decaimento β^- (transformação de nêutron em próton). Discussão sobre como o neutrino/antineutrino foi postulado por Pauli para salvar as leis de conservação.
20 min	Atividade 2: Desenha a Tua Partícula (Fase Criativa)	Introdução da atividade "Desenha a Tua Partícula!". Esta atividade serve como fechamento criativo sobre o Modelo Padrão (léptons, quarks, bósons, etc.).
		Execução: Os estudantes, em grupo, criam uma partícula, classificando-a (quark, lépton, etc.), definindo sua composição e propriedades físicas, e sua função no Universo. O professor deve monitorar e avaliar com base na rubrica fornecida.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

A fase 3 da ABE favorece o compartilhamento do que foi construído nas fases 1 e 2, apenas a fase de casa é realizada individualmente. Na sala de aula, os estudantes juntam as anotações e realizam as atividades em equipe.

5.3 Parte 3: Apresentação dos resultados e discussão

As equipes apresentam sua Partícula Hipotética. A discussão aberta permite que os alunos comparem diferentes abordagens e defendam seus raciocínios, promovendo a socialização e a consolidação de conceitos.

Quadro 9- Orientações para fase final

Tempo	Etapa	Descrição Detalhada
10 min	3.1 Designação da Tarefa (Conceituação)	O professor apresenta os grupos
80 min	3.2 Síntese em Equipe	A. Colorir, Nomear e Relacionar: As equipes apresentam os resultados do desenho da partícula hipotética B. O Desafio da Partícula Escura: Usando a página "Desenha a tua partícula", cada equipe deve apresentar sua Partícula Hipotética (e.g., "Bóson da Escuridão") e listar suas propriedades (massa, carga, interação).

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Possibilidades de avaliação avaliação

A avaliação deve ser contínua e considerar o desempenho individual e o desempenho em equipe.

1. Avaliação Individual: Pondera a preparação individual.
2. Avaliação em Equipe: Pondera a capacidade de discussão e consenso.
3. Avaliação da Aplicação (Partícula Hipotética): Avalia a profundidade da compreensão conceitual e a capacidade de aplicar os conceitos (Quarks, Léptons, Bósons e Interações) de forma criativa e coerente para solucionar um problema complexo (os 95% desconhecidos do universo).
4. Avaliação por Pares (Opcional, mas Recomendada pelo TBL): Permite aos alunos avaliar a contribuição de cada membro da equipe para o sucesso do trabalho.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. Bohr: o arquiteto do átomo. São Paulo: Odysseus, 2002.

Atlas Experiment Disponível em: <https://atlas.cern/> Acesso em: 12 abr. 2024

ANDRADE, Nilson Silva de. Vídeos autorais potencialmente significativos para introdução da interação nuclear fraca: uma proposta de sequência didática a partir do decaimento beta. 2022. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) — Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2022.

BASTOS, Kleber da Luz; GONÇALVES, Karen Magno; CABRAL NETO, João dos Santos. Modelo padrão: uma análise dos livros didáticos do PNLND para identificar conceitos relacionados à Física de Partículas Elementares. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 44, 2022.

BOLLELA, Valdes Roberto; SENGER, Maria Helena; TOURINHO, Francis Solange Vieira; AMARAL, Eliana. Aprendizagem baseada em equipes: da teoria à prática. Medicina (Ribeirão Preto), Ribeirão Preto, Brasil, v. 47, n. 3, p. 293–300, 2014. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rmrp/article/view/86618..> Acesso em: 22 nov. 2024.

Chatgpt Disponível em <https://www.chatgpt.com>. Acesso em: 10 dez. 2024

FARIAS, Mickael Victhor Santos de; RÊGO, Ricardo C. S. Física de partículas & astropartículas: das altas energias até o Big Bang. Editado por Farinaldo Queiroz. Natal, RN: [s.n.], 2023. Ebook. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11002846>.

GILMORE, R. Alice no país do quantum: a física quântica ao alcance de todos. Tradução de: André Penido. Revisão técnica: Ildeu de Castro Moreira. Rio de Janeiro: Zahar, 1998. 192 p.

MICHAELSEN, L. K.; KNIGHT, A. B.; FINK, L. D. Team-Based Learning: A transformative use of small groups in college teaching. Sterling, VA: Stylus Publishing, LLC, 2004.

MORAN, José Manuel. Mudando a educação com metodologias ativas. 2015. Disponível em: https://moran.eca.usp.br/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso em: 21 jun. 2025.

Notebooklm Disponível em <https://notebooklm.google.com>. Acesso em 10 jul. 2025

OLIVEIRA, T. E. de. Aprendizagem de física, trabalho colaborativo e crenças de autoeficácia: um estudo de caso com o método Team-Based Learning em uma disciplina introdutória Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p.962-986, dez. 2016982 de eletromagnetismo. 2016. 209 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre.

RAMALHO, Regivan Silva; QUEIROZ, Farinaldo da Silva. Explorando o universo invisível: uma jornada pela física de partículas e as fronteiras do conhecimento. [S.l.: s.n.], [2023?]. Ebook. Disponível em: <https://zenodo.org/records/10698621>.

RIBAS, Andressa Nascimento. O discreto charme das partículas elementares – Episódio 1: A busca do constituinte fundamental. 2017. Vídeo (YouTube). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3BRp-8w2IJU&list=PLKJkVIZXBHC5nTaDYAnrMYuVdvSNtHstQ&index=3>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RIBAS, Andressa Nascimento. O discreto charme das partículas elementares – Episódio 2: A avalanche de partículas. 2017. Vídeo (YouTube). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZaqpIyEKfw&list=PLKJkVIZXBHC5nTaDYAnrMYuVdvSNtHstQ&index=1>. Acesso em: 21 nov. 2024

RIBAS, Andressa Nascimento. O discreto charme das partículas elementares – Episódio 3: O zoológico das partículas. 2017. Vídeo (YouTube). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zouFZqI6-II&list=PLKJkVIZXBHC5nTaDYAnrMYuVdvSNtHstQ&index=2> . Acesso em: 21 nov. 2025.

RIBAS, Andressa Nascimento. O discreto charme das partículas elementares – Episódio 4: As forças fundamentais da natureza. 2017. Vídeo (YouTube). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ag8caXTXJ5w>. Acesso em: 21 nov. 2024.

RIBAS, Andressa Nascimento. O discreto charme das partículas elementares – Episódio 5: O Modelo Padrão. 2017. Vídeo (YouTube). Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=M2e3i_CLY6g . Acesso em: 21 nov. 2024.

SILVA, Kaio. Dos atomistas ao átomo moderno: um resgate histórico da evolução dos modelos atômicos. IFPE, 2021.

Spotify for creators. Disponível em <https://creators.spotify.com>. Acesso em 10 jul. 2025

Tekotuaba Universidade Federal de Alfenas Disponível em <https://www.unifal-mg.edu.br/tekokuaba/sobre-o-projeto/>. Acesso em 10 jan. 2022.

Apêndice B: Ficha de Avaliação - ABE

Ficha de Avaliação - ABE

NOME DO AVALIADO: _____

GRUPO: _____ DATA: _____

Nome do aluno _____
 _____ Equipe nº _____

ETAPA 2.1. Garantia do Preparo Individual
(individual Readiness Assurance Test – IRAT)

Instruções: cada questão vale 4 pontos e você deve assinalar um total de 4 pontos em cada linha. Pode colocar os 4 em uma só alternativa ou, se estiver inseguro sobre a resposta correta, pode dividir os 4 pontos e assinalar pontos em mais de uma casela, da forma que preferir (2+2; 3+1; 1+1+1+1; 2+1+1), desde que a soma deles totalize QUATRO.

Nº questão Alternativa	A	B	C	D	Pontos (Individual)	Pontos (equipe)
1						
2						
3						
etc.						
Total de pontos						

Test: RAP ONE				
Nome: Bill Smith				
Student #: 345 323 679				
	A	B	C	D
1	3			
2		2		1
3				
4		3		
5		1	1	1
6	2			1
7		3		
8				3
9	2	1		
10			3	
Score				

+

Test: RAP ONE				
Nome: KEY				
Student #:				
	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
Score				

=

Test: RAP ONE				
Nome: KEY				
Student #:				
	A	B	C	D
1	3			
2		2		
3				
4		3		
5				1
6	2			
7		3		
8				
9	2			
10				
Score				16

TESTE INDIVIDUAL

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
A										
B										
C										
D										
TOTAL										

TOTAL DE PONTOS INDIVIDUAL: _____

TESTE EM EQUIPE

	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
A										
B										
C										
D										
TOTAL										

TOTAL DE PONTOS EM EQUIPE: _____

AVALIAÇÃO POR PARES

ALUNO	DOMÍNIO DO CONTEUDO	CONTRIBUIÇÃO PARA A EQUIPE	TOTAL

(0 A 5 PONTOS)

- 1 (Péssimo/Muito Insatisfeito)
- 2 (Ruim/Insatisfeito)
- 3 (Neutro/Indiferente)
- 4 (Bom/Satisfeito)
- 5 (Ótimo/Muito Satisfeito)

Questionário de Avaliação da Experiência com Aprendizagem Baseada em Equipe

1. A divisão em equipes facilitou a compreensão do conteúdo abordado?

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

2. O uso de testes individuais e em equipe contribuiu para seu aprendizado?

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro

- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

3. Houve colaboração efetiva entre os membros da equipe durante a atividade?

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

4. O uso de recursos como ChatGPT, vídeos ou quadrinhos ajudou na compreensão dos conceitos?

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

5. Você se sentiu motivado(a) a participar das discussões e resolver os problemas propostos?

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Neutro
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

6. AUTOAVALIAÇÃO:

Como você avalia sua participação e contribuição na atividade em equipe?

7. AVALIAÇÃO DO GRUPO:

Como você avalia o desempenho e a colaboração do seu grupo durante a atividade?

Anexos

Anexo A–Termo de Cooperação



TERMO DE AUTORIZAÇÃO INSTITUCIONAL DA COPARTICIPANTE

Autorizo o pesquisador Jorge Lucio Rodrigues das Dores a desenvolver nesta instituição o projeto de pesquisa intitulado Proposta de Ensino da Interação Nuclear Fraca com Auxílio de Ferramentas de Inteligência Artificial no Ensino Médio: Abordagem Baseada em pressupostos da Teoria Sociocultural de Vygotsky e Aprendizagem Baseada em Equipes. O qual será executado em consonância com as normativas que regulamentam a atividade de pesquisa envolvendo seres humanos. Declaro estar ciente que a instituição é corresponsável pela atividade de pesquisa proposta e dispõe da infraestrutura necessária para garantir a segurança e bem estar dos participantes da pesquisa.

Salvador, 19 de setembro de 2024


Assinatura
Cláudia Dantas Schramm
DIRETORA CEPS
Aut 31088/2016

Responsável institucional

