



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS - IFAM

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

POLO 04

Erdelem Cris Gomes da Silva

PRODUTO EDUCACIONAL

EXPLORANDO O MUNDO QUANTUM

Manaus

2024

Erdelem Cris Gomes da Silva

EXPLORANDO O MUNDO QUANTUM

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Física de Partículas: uma sequência didática para introdução do Modelo Padrão nas aulas de Física no Ensino Médio, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 – UFAM / IFAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Dr. Minos Martins Adão Neto

Manaus

2024

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

S586e Silva, Édelem Cris Gomes da.
Explorando o mundo Quantum / Édelem Cris Gomes da Silva. – Manaus, 2025.
47 p. : il. color.

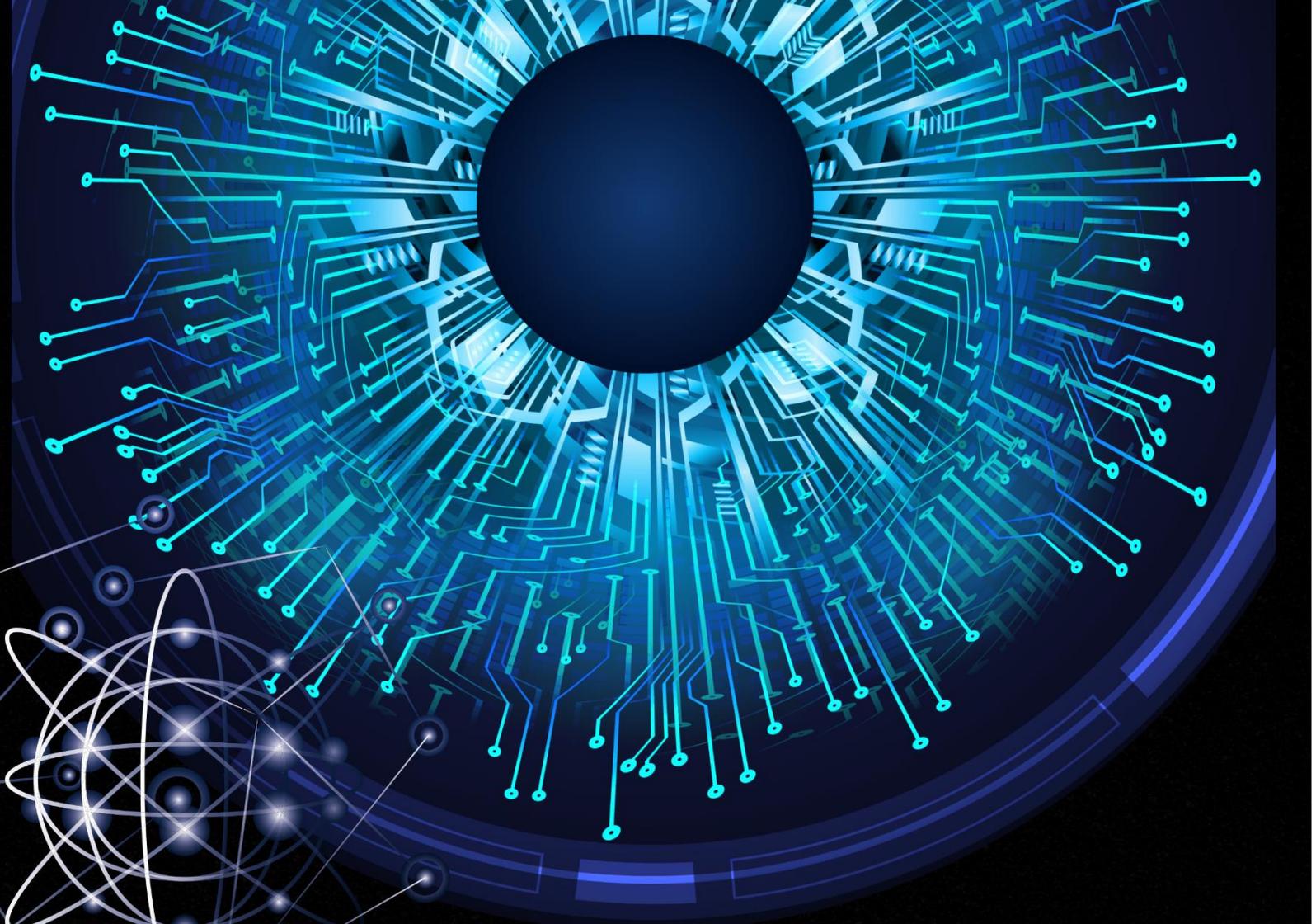
Produto educacional proveniente da dissertação - Física de partículas: uma sequência didática para introdução do modelo padrão nas aulas de física do ensino médio (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*; Universidade Federal do Amazonas, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Mimos Martins Adão Neto.
ISBN 978-65-83758-00-2

1. Física – ensino. 2. Partículas. 3. Modelo padrão. 4. Sequência didática I.
Adão Neto, Mimos Martins. (Orient.). I. Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amazonas. II. Universidade Federal do Amazonas. III. Título.

CDD 530.07

Elaborada por Márcia Auzier CRB 11/597



EXPLORANDO O MUNDO QUANTUM

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE
FÍSICA MNPEF



POLO 04

A meus queridos e amados pais Sebastião e Tereza.

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo apoio e incentivo.

Aos meus colegas de curso, por toda parceria e amizade.

Agradeço aos meus professores da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) polo 04 por todo conhecimento compartilhado.

Ao meu orientador, por toda contribuição e direcionamento que me proporcionou realizar este trabalho.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) por promover este programa de mestrado e proporcionar a tantos, assim como eu, a oportunidade de qualificação.

À CAPES, pelo apoio e concessão de bolsa de estudos, o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Estendo meus agradecimentos a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

Lista de abreviaturas

BNCC Base Nacional Comum Curricular

MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

LHC Large Hadron Collider

BBC British Broadcasting Corporation

PHET Physics Education Technology

SBF Sociedade Brasileira de Física

ZPD Zona de Desenvolvimento Proximal

CERN Centro Europeu para a Pesquisa Nuclear

Lista de figuras

- Figura 1: Introdução à Física de Partículas 17
- Figura 2: Projeção filme Homem-formiga (Marvel 2015) 18
- Figura 3: Visão geral da sequência didática 18
- Figura 4: Projeção do vídeo "As quatro forças fundamentais" 19
- Figura 5: Modelos atômicos 20
- Figura 6: Simulação Espalhamento de Rutherford 20
- Figura 7: O que são partículas elementares 21
- Figura 8: A descoberta do elétron 21
- Figura 9: Experimento de Thomson 22
- Figura 10: Léptons 23
- Figura 11: Quarks 23
- Figura 12: Projeção do filme Anjos e Demônios 24
- Figura 13: Partícula mediadora da força forte 25
- Figura 14: Partícula mediadora da força fraca 25
- Figura 15: Partícula mediadora força eletromagnética 26
- Figura 16: Partícula mediadora força gravitacional 26
- Figura 17: Projeção do vídeo " O que é Modelo Padrão" 27
- Figura 18: Large Hadron Collider (LHC) 27
- Figura 19: Projeto Sirius 28

Sumário

1 Apresentação.....	12
2 Fundamentação Teórica.....	13
2.1 Introdução à Física de Partículas	13
2.2 A teoria de ensino de L. S. Vygotsky	13
2.3 Descrição sintética das aplicações	14
3 Metodologia de Ensino	16
4 Aplicação da sequência didática	17
4.1 Descrição das atividades.....	17
5 Considerações finais	29
Referências.....	30
Apêndices.....	32
Apêndice A	33
Apresentação dos slides utilizados na sequência didática	33

1 Apresentação

Colega professor/professora, este produto educacional trata-se de uma proposta de Sequência Didática para alunos do Ensino Médio, voltada para o tema Física de Partículas com ênfase no Modelo Padrão. Este tema foi escolhido por alguns motivos: primeiro, por ser pouco trabalhado em salas de aula; segundo, por ser um tópico contemporâneo, com pesquisas ainda em curso e com aplicações em tecnologias atuais; terceiro, para desmistificar temas, no sentido de que muitos conceitos da Física Moderna são mal compreendidos; quarto, o seu potencial de interdisciplinaridade com a Biologia, história, geografia, entre outros. Com isso acreditamos ter um maior motivação e engajamento por parte dos alunos em estudar a Física.

Sua base teórica de ensino assenta-se na teoria de aprendizagem de Lev Vygotsky, em outras palavras, aprendizagem mediada, fazendo uso do que Vygotsky denominou Zonas de Desenvolvimento Proximal (ZPD).

Do ponto de vista instrucional este produto educacional é uma proposta de transposição didática de um tema pouco explorado no Ensino Médio, bem como das possibilidades de se trabalhar a Física Moderna de uma forma que o aluno não a veja como algo distante de sua realidade. O material foi pensado para aplicação no terceiro ano do ensino médio, uma vez que nessa fase, os alunos já têm conhecimento de muitos conceitos que são importantes para desenvolver o tema, porém, nada impede de ser aplicado em outras etapas, fazendo as devidas adaptações ao local e público.

Para tanto, a Sequência Didática utiliza estratégias com uma abordagem dialógica, com ênfase no processo de “fazer ciência” e habilidades correlatas, no sentido de que há muitas questões em aberto na Física de Partículas, além de contribuir para uma alfabetização científica, o que em tempos de negacionismo científico, se faz necessário.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Introdução à Física de Partículas

Durante a história, muitas gerações de culturas diferentes têm procurado responder à pergunta: de que são feitas as coisas? Ou, em termos mais precisos, de que é feita a matéria? Dentre as primeiras tentativas conhecidas de responder a essa pergunta pode ser atribuída às especulações do filósofo grego Demócrito (cerca de 460 a.C-370 a.C.), além da teoria atômica de Dalton (1808). Porém, se não levarmos em conta esses acontecimentos, pode-se dizer que a Física de Partículas começou com a descoberta do elétron por Thomson, em 1897 (TIPLER, LLEWELLYN, 2017). A história das ideias sobre a constituição da matéria é uma parte tão importante da história cultural da humanidade quanto da história evolutiva das ideias. Vale a pena destacar o progresso feito na física de partículas elementares nos últimos 50 anos, aproximadamente, para responder às questões: quais são os constituintes mais fundamentais da matéria? Quais são as forças fundamentais que regem esses constituintes e quais são as leis que os regem?

Esse progresso é baseado em experimentos importantes e no desenvolvimento da mecânica quântica e na fundamentação teórica fornecida pela teoria da relatividade de Einstein. Em 1913, Ernest Rutherford descobriu o núcleo atômico, e quando os cientistas começaram a estudar elementos mais pesados, “descobriram o curioso fato de que aparentemente a massa atômica aumenta mais rápido que o número de cargas nucleares, embora ao que tudo indicava, ambos seriam proporcionais ao número de prótons do núcleo.” (CARUSO, OGURI, SANTORO,2005). Este problema foi resolvido quando Chadwick descobriu o nêutron em 1932.

Desde a década de 1950 muitos países têm construído e investido em aceleradores de partículas na intenção de estudar mais a fundo essa nova área da Física, sem dúvidas o mais famoso projeto nesse sentido é a Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN), onde entre outros aceleradores encontra-se o Grande Colisor de Hádrons (LHC), equipamento que detectou pela primeira vez o Bóson de Higgs no ano de 2012.

2.2 A teoria de ensino de L. S. Vygotsky

Para Vygotsky, os processos mentais superiores têm origem em processos sociais; o desenvolvimento cognitivo do ser humano não pode ser entendido sem referência ao meio

social. Para ele, desenvolvimento cognitivo é a conversão de relações sociais em funções mentais.

Mas, de que forma essas relações sociais se convertem, no indivíduo em funções psicológicas? A resposta para essa questão, segundo Vygotsky está na mediação, ou em outras palavras, na atividade mediada, para ele, típica da cognição humana.

Desta forma, diferentemente de outros teóricos cognitivistas que tem seu enfoque no indivíduo, Vygotsky tem seu enfoque na interação social. A interação social é, portanto, a questão fundamental para a transmissão dinâmica (de inter para intrapessoal) do conhecimento social, histórico, científico e culturalmente construído.

É nessa perspectiva que que pretende desenvolver as atividades junto aos alunos, buscando a interação, diálogo e engajamento de todos.

2.3 Descrição sintética das aplicações

Quadro 1: Delineamento das aulas da sequência didática.

Aulas	Descrição	Duração
Aula 1: Introdução à Física de Partículas	Apresentação do tema; Motivação: Vídeo filme “Homem- formiga” Discussão: Vídeo “As quatro forças fundamentais”	1 hora- aula
Aula 2: Estrutura atômica da matéria	Motivação: Simulação “Espalhamento de Rutherford” Discussão: O experimento de Thomson	1 hora- aula
Aula 3: Léptons e quarks	Motivação: Vídeo “Do fio de cabelo até o átomo”	1 hora- aula

	Discussão: Antimatéria é real?	
Aula 4: O Modelo Padrão e o LHC	Motivação: Vídeo “O que é o Modelo Padrão” Discussão: O que é o LHC	1 hora- aula

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

3 Metodologia de Ensino

A estratégia escolhida foi o ensino por descoberta: Por se tratar de um tema novo aos alunos foi escolhido este tipo de abordagem no qual o estudante com as devidas orientações constrói seu aprendizado. Além disso, a metodologia está pautada nos seguintes aspectos:

- Abordagem dialógica: Acreditamos que está é uma forma que pode produzir bons resultados, uma vez que vai ao encontro da teoria de ensino escolhida, além de proporcionar maior participação dos alunos, diferindo do sistema tradicional.
- Ênfase no processo de “fazer ciência” e habilidades correlatas (muitas questões ainda em aberto na Física de Partículas): Geralmente é apresentado o conteúdo pronto, mas nem sempre é mostrado o processo de construção, e como a teoria a respeito do Modelo Padrão ainda está em desenvolvimento, acreditamos que é bastante interessante mostrar que a ciência está sempre procurando melhores explicações para questões em aberto.
- Alfabetização científica: No atual momento em que é muito difundido pseudociências, negacionismo e todo tipo de desinformação, faz-se necessário trazer para o debate questões de cunho científico, mostrar porque determinado conhecimento é aceito, após testes e verificações.

4 Aplicação da sequência didática

A sequência didática foi pensada e desenvolvida para ser aplicada durante quatro aulas com duração de 1 hora cada aula, sempre partindo de questões dialogadas e inserindo os conceitos e objetivos específicos de cada conteúdo abordado.

4.1 Descrição das atividades

Aula 1: Introdução à Física de Partículas: Modelo Padrão

Carga horária: 1 hora-aula

Objetivo: Apresentar o tema de forma geral e iniciar os primeiros diálogos sobre a Física de Partículas.

Metodologia: A aula inicia com o seguinte questionamento:

- *Do que é feita a matéria? Ou em outras palavras, como é constituída a matéria em seu estado mais fundamental?*

Figura 1: Introdução à Física de Partículas

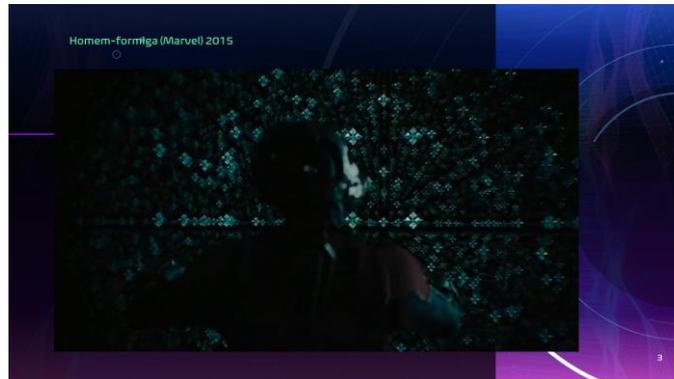


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Nesse momento não é esperado que o(a) aluno(a) saiba a resposta correta, nem que o(a) mesmo(a) já tenha se questionado a respeito da indagação, o objetivo é instigar e deixar que eles especulem sobre o assunto.

Para dar suporte e aumentar o engajamento da turma foi utilizado um trecho do filme Home-formiga (Marvel) do ano de 2015. O filme foi escolhido porque apesar de ser de fantasia, em muitos momentos trata da questão quântica e é bastante conhecido pelos alunos.

Figura 2: Projeção filme Homem-formiga (Marvel 2015)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Em seguida foi feita a seguinte pergunta: E se realmente fosse possível viajar ao mundo quântico, o que poderíamos encontrar?

Mais uma vez é dado um certo tempo para que os alunos interajam sobre a pergunta, com o professor intervindo quando necessário.

Nesse momento o professor espoe aos alunos a visão geral da sequência didática, partindo da evolução dos modelos atômicos à definição de partículas elementares até a formação da teoria do Modelo Padrão.

Figura 3: Visão geral da sequência didática



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir desse momento é iniciado os conteúdos propriamente dito sobre a Física de Partículas iniciando pelo conceito das forças fundamentais da natureza. Em seguida é

projetado o vídeo “As quatro forças fundamentais da natureza” produzido pela BBC¹ News Brasil.

Figura 4: Projeção do vídeo "As quatro forças fundamentais"



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Aqui os alunos são levados a perceber a importância de cada força e seu limite de atuação, podendo ser utilizados exemplos como a queda de uma fruta local pela atuação da força gravitacional, o funcionamento de equipamentos eletrônicos sujeitos à força eletromagnética, e de modo mais específico destacar a atuação da força forte para a estabilidade do núcleo e força fraca bem como seu raio de atuação e intensidade se comparada as demais forças.

Aula 2: Estrutura atômica da matéria

Carga horária: 1 hora-aula

Objetivo: Entender como está distribuída a estrutura atômica da matéria; revisar a evolução dos modelos atômicos; e conhecer a primeira partícula elementar descoberta o elétron.

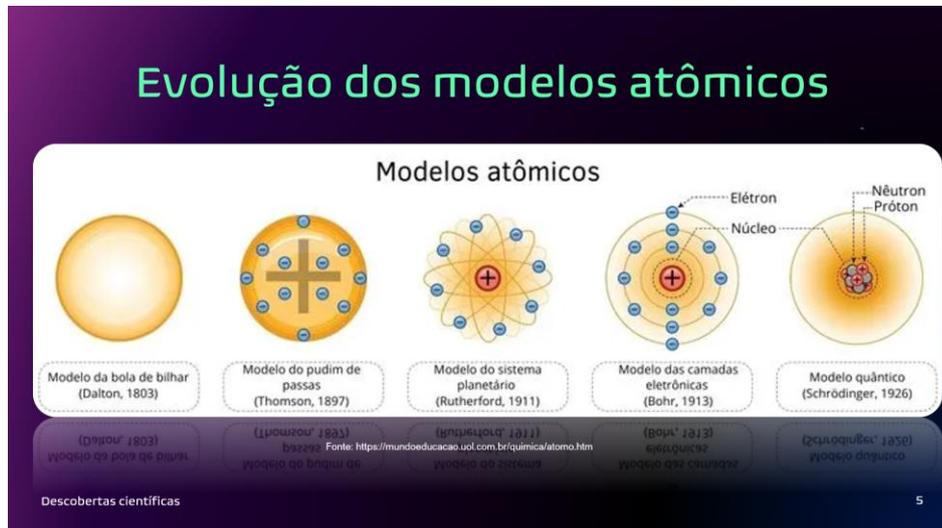
Metodologia: Antes de iniciar a aula sobre a estrutura atômica da matéria o professor deverá avaliar se houve aprendizado sobre a aula anterior, projetando no slide perguntas sobre os temas abordados, principalmente sobre as forças fundamentais, formulando perguntas do tipo: quais as forças fundamentais da natureza? Qual delas é mais intensa? Onde cada uma atua? Entre outras. Logo após as devidas intervenções sobre a resposta dos alunos inicia-se a aula do dia.

Inicia-se a aula fazendo um paralelo com a Química, lembrando aos alunos que as substâncias são formadas pela associação de átomos que seguem leis específicas, a ideia, no

¹ British Broadcasting Company Ltd

entanto, é mostrar que podemos ir cada vez mais a fundo na estrutura das coisas. A seguir é apresentado os slides detalhando a evolução dos modelos atômicos, bem como o que cada um trouxe de contribuição para o entendimento da estrutura da matéria, destacando suas limitações teóricas, ou seja, os aspectos que cada modelo não podia explicar.

Figura 5: Modelos atômicos



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 6: Simulação Espalhamento de Rutherford



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Para fixar melhor os conceitos e definições de cada modelo atômico em seguida foi projetado o vídeo sobre modelos atômicos do canal do YouTube descomplica, no qual de forma simples e objetiva é apresentado as principais características de cada modelo atômico.

Após os alunos conhecerem a estrutura atômica e discutir cada modelo, é o momento de dá o próximo passo e definir finalmente o conceito de partícula elementar, dando alguns exemplos de partículas que atualmente são consideradas elementar.

Figura 7: O que são partículas elementares

Definição de partícula elementar:

Uma partícula elementar ou partícula fundamental é uma partícula que não possui nenhuma subestrutura.

- Em outras palavras, são as partículas indivisíveis da matéria, tais como os elétrons, os fótons e os quarks.

Descobertas científicas

Fonte: <https://giseleciencia.com.br/pt/publicacao.asp?id=2936314&alternativo=F&pagina=atu&listagemPublicacoes=1>

8

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Em seguida será apresentado como se deu a descoberta da primeira partícula elementar, o elétron. Discorrer sobre todo o trabalho desenvolvido para a descoberta do elétron é importante para mostrar como a ciência é construída, uma vez que muitos alunos têm a noção de que o conhecimento científico já é algo pronto sem a necessidade de desenvolvimento. Partindo dos primeiros trabalhos sobre os tubos de raios catódicos (ou “ampolas de Crookes”), até o esplêndido de J. J. Thomson, é possível fazer uma viagem junto com os alunos e levá-los a conhecer o método científico e como a ciência é construída.

Figura 8: A descoberta do elétron

A descoberta do elétron

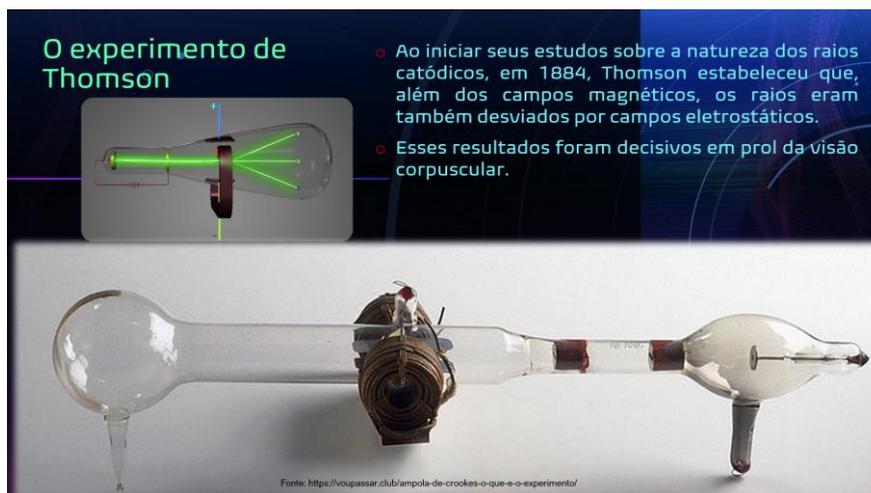
- Inicialmente dentro da concepção atomística da matéria, fortemente imbricada com o desenvolvimento da química, da Teoria cinética dos gases e dos estudos do movimento Browniano a natureza indivisível do átomo não era questionada.
- Logo após, apresentaram-se outras evidências nesse sentido, obtidas a partir do surgimento dos novos fenômenos descobertos com esses tubos.
- A partir das conclusões dessas pesquisas há a **confirmação** inequívoca de que **o átomo possui uma subestrutura**, fato, no entanto, só foi compreendido no século XX.

Descobertas científicas

11

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 9: Experimento de Thomson



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

É importante destacar que estas observações seguidas da análise dos resultados culminaram na descoberta da nossa primeira partícula elementar, fazendo com que o próprio Thomson propusesse seu modelo atômico.

Antes de finalizar a aula será exibido dois pequenos vídeos, um sobre o tubo de raios catódicos do canal e-química e outro com um professor demonstrando em uma aula prática com os alunos o experimento de Thomson.

Ambos os vídeos se encontram disponíveis no YouTube através do link no rodapé. Com eles é possível os alunos conhecerem melhor os tubos de raios catódicos e visualizar o experimento que proporcionou a descoberta do elétron.

Aula 3: Léptons e Quarks

Carga horária: 1 hora-aula

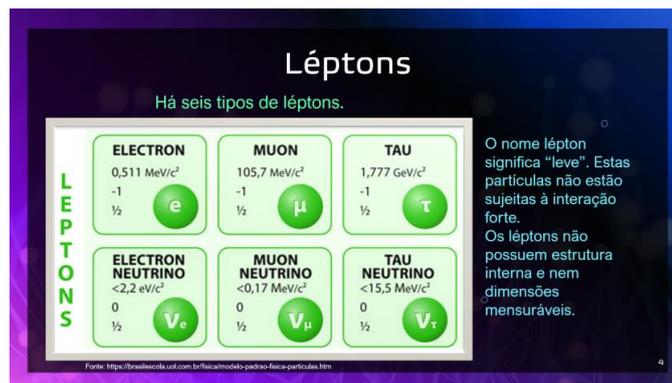
Objetivo: Conceituar o que são léptons e quarks e diferenciar cada tipo; entender o que são antipartículas e o processo de aniquilação;

Metodologia: Antes de iniciar a aula sobre a Léptons e Quarks o professor deverá avaliar o aprendizado sobre a aula anterior, projetando no slide perguntas sobre os temas abordados, formulando perguntas sobre o experimento de Thomson, sobre a definição de partícula elementar e quais a diferenças entre os modelos atômicos.

Para iniciar a aula o professor projeta no slide o vídeo “Do fio de cabelo até o átomo” para chamar atenção sobre a região onde se encontra essas duas partículas no átomo, além de servir como revisão sobre estrutura atômica.

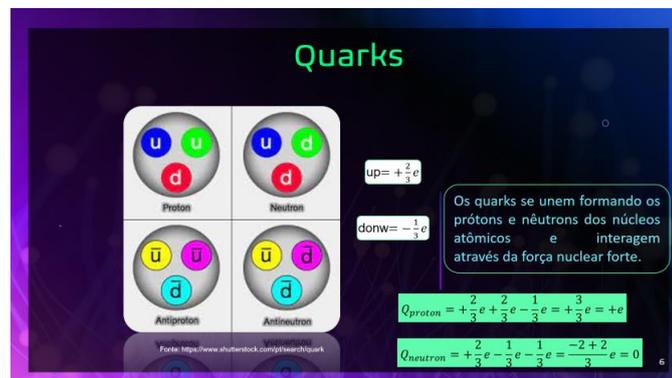
Em seguida, é conceituado o que são léptons e quarks, mostrando cada tipo com suas características, e destacando como os quarks Up e Down interagem para formar o próton e o nêutron.

Figura 10: Léptons



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 11: Quarks



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Após dialogar com os alunos sobre a característica de cada partícula, o professor demonstra através de um cálculo simples o porquê de a carga líquida do próton ser (+e) e do nêutron ser nula. Esse momento é importante para reafirmar conceitos fundamentais da eletrostática, onde muitas vezes o valor da carga líquida das partículas (no caso do próton e nêutron) são apenas introduzidos, mas sem explicar de onde vem os valores.

Em seguida é apresentado o conceito de antipartícula e para motivar o diálogo sobre o processo de aniquilação é utilizado uma pequena parte do filme Anjos e Demônios de 2009.

Figura 12: Projeção do filme Anjos e Demônios



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

O vídeo serve para ilustrar através de um grande filme de ficção o processo de aniquilação, mas também é usado para mostrar que não se trata somente de ficção, muitas vezes os alunos assistem programas, séries e filmes pensando que muito dos fenômenos ali retratados não são reais, isto serve para mostrar que a Física de Partículas é tão presente quanto tudo que no rodeia e interagimos diariamente.

Como atividade pós aula é sugerido aos alunos assistirem o filme na íntegra para melhor compreensão e enriquecimento cultural.

Aula 4: O Modelo Padrão e o Large Hadron Collider (LHC)

Carga horária: 1 hora-aula

Objetivo: Conhecer a partícula mediadora de cada força fundamental. Mostrar aos alunos o acelerador de partículas LHC onde as descobertas são feitas; apresentar a visão geral de como está fundamentado o Modelo Padrão; explanar sobre o projeto brasileiro Sirius.

Metodologia: No início da aula o professor, como é feito sistematicamente, avalia o aprendizado dos alunos por meio de questões da aula anterior direcionadas à turma. Questões relacionadas ao conceito de Léptons e Quarks, os tipos de cada um, suas diferenças, como se dá o processo de aniquilação.

Em seguida, indaga-se os alunos sobre as quatro forças fundamentais e espera-se que todos recordem seus conceitos, para poder introduzir a partícula mediadora de cada força fundamental, aqui a ordem de apresentação será pela intensidade de cada uma, inicialmente pela força nuclear forte e sua partícula mediadora o Glúon, depois pela força nuclear fraca e sua partícula mediadora Bóson Z e W, força eletromagnética e sua partícula mediadora Fóton e força gravitacional e a busca pela detecção de sua partícula mediadora o Gráviton.

Figura 13: Partícula mediadora da força forte

Interações fundamentais e partículas mediadoras

Força nuclear forte

A força nuclear forte é a que mantém a coesão do núcleo atômico.

É a mais intensa das quatro forças fundamentais, cerca de 10^8 vezes a força gravitacional.

Entretanto sua ação só se manifesta em distâncias muito pequenas (núcleo atômico).

GLUON

0	0	1
---	---	---

A partícula mediadora da força forte é chamada de Glúon.

Fonte: <https://www.blogs.unicamp.br/ichivononopotag/fisica-de-particulas/>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 14: Partícula mediadora da força fraca

Interações fundamentais e partículas mediadoras

Força nuclear fraca

Entre os léptons e os hádrons, atuando em escala nuclear, desenvolve-se a força nuclear fraca.

Entretanto sua ação só se manifesta em distâncias muito pequenas (núcleo atômico).

Z BOSON

91,2 GeV/c ²	0	1
-------------------------	---	---

W BOSON

80,4 GeV/c ²	±1	1
-------------------------	----	---

Está presente no decaimento radioativo.

Fonte: <https://hypescience.com/pela-primeira-vez-fisicos-conseguem-medir-a-forca-nuclear-fraca-com-precisao/>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

é vinculada nas mídias, além de aproveitar a matéria para ilustrar com está distribuído e organizado o Modelo Padrão da Física de partículas atualmente. É possível vê como cada peça se encaixa para dar forma à todas as coisas do universo, gerando bons debates em sala de aula, uma vez que os alunos terão a noção de como cada parte está classificada para compor a teoria e de forma cada uma atua nesse contexto.

Figura 17: Projeção do vídeo " O que é Modelo Padrão"



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Logo após, chegou a hora de mostrar onde a “mágica” acontece, e fazer com que os alunos conheçam o projeto do Cerne e dentre os aceleradores de partículas o mais famoso entre eles, o Grande Colisor de Hádrons (LHC). Mostrar e discutir o futuro do avanço científico e as novas possibilidades que isso pode gerar em benefício da humanidade.

Figura 18: Large Hadron Collider (LHC)



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Por fim, não podemos deixar de mostrar o projeto brasileiro desenvolvido, o acelerador Sirius e mostrar que o país contribuiu e continua contribuindo em parceria com outros países e instituições na busca de detectar e estudar essas partículas e desenvolver essa área da Física que ainda necessita de muitas respostas, além de expor sobre o trabalho de um dos nossos mais renomados cientistas o físico brasileiro César Lattes descobridor do méson pi.

Figura 4.18: Projeto Sirius

Figura 19: Projeto Sirius



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Finalizada a aplicação da sequência didática o professor deverá aplicar a avaliação formativa.

5 Considerações finais

Em conformidade com as novas diretrizes da BNCC em relação ao novo Ensino Médio, esperamos que este produto seja uma ferramenta útil para introduzir os conceitos e as bases dessa nova teoria da Física. Sabemos da dificuldade que é estabelecer uma transposição didática eficiente quando se trata de um tema que foge à nossa realidade cotidiana, porém, é exatamente por isso o nosso esforço nesse sentido.

Poder dialogar com os alunos sobre um tema que está em pleno desenvolvimento é bastante satisfatório, isso gera bons debates, indagações sobre novas tecnologias, a compreensão para uso de tecnologias atuais, além de motivar e tornar as aulas mais dinâmicas e interativas.

Referências

- ABDALLA, M. C. B. Sobre o discreto charme das partículas elementares. **Revista Física na Escola**. v. 6, n. 1, 2005. Disponível em <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol06-Num1/charme1.pdf>. Acesso em 15 jan. 2023
- ALMEIDA, D. P. G. **Física Moderna e Contemporânea no ensino médio**: o livro didático e as representações sociais de docentes. 2019 (Tese de Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- AMAZONAS. Secretaria de Estado de Educação e Desporto. Proposta curricular e pedagógica do ensino médio. Manaus: SEDUC, 2021.
- BASTOS, K. L.; GONÇALVES, K. M.; NETO, J. dos S. C. Modelo padrão: uma análise dos livros didáticos do PNL D para identificar conceitos relacionados a Física de Partículas Elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0153>
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018.
- CARUSO, F.; OGURI, V. A busca eterna do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e leptos. Rio de Janeiro, RJ. 1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v20n3/4954.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARUSO, F.; OGURI, V.; SANTORO, A. **Partículas Elementares: 100 anos de descobertas**. 1 ed. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2005.
- DAMASIO, F.; CALLONI, G. Plasma: dos antigos gregos à televisão que você quer ver. **Revista Física na Escola**. Física na Escola, v. 9, n. 1, 2008. Disponível em <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol09-Num1/plasma1.pdf>. Acesso em 12 jan. 2023.
- DORSCH, G. C.; GUIO, T.C.C. Física de partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0083>

ENDLER, A. M. F. **Introdução à Física de Partículas**. 1.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2011.

MOREIRA, M. A. O modelo padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 2009. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sMFh5cP7J9S8RzcXGsmV3fR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 09 de jan. 2023.

NOBREGA, F. K.; MACKEDANZ, L. F. O LHC (Large Hadron Collider) e a nossa física de cada dia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, 2013. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pCcqDpv9fTfBFnxKzdM7JDP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 jan. 2023.

ROSENFELD, R. Os 10 anos da detecção do bóson de Higgs: passado, presente e futuro. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0251>

SCHÄFFER, D.; SCHUMACHER, F.; ORENGO, G. Uma introdução à Física de Partículas para o ensino médio: uma tradução adaptada do texto de Bettelli, Bianchi-Streit e Giacomelli. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0018>

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

Apêndices

Apêndice A

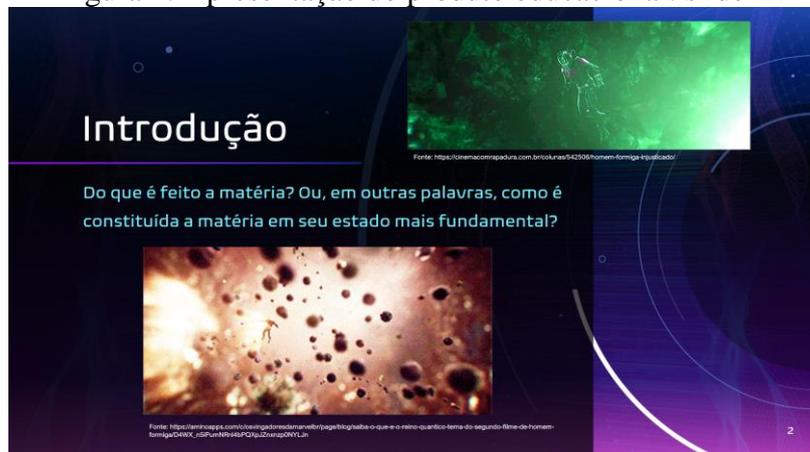
Apresentação dos slides utilizados na sequência didática

Figura 1: Apresentação do produto educacional: slide 1



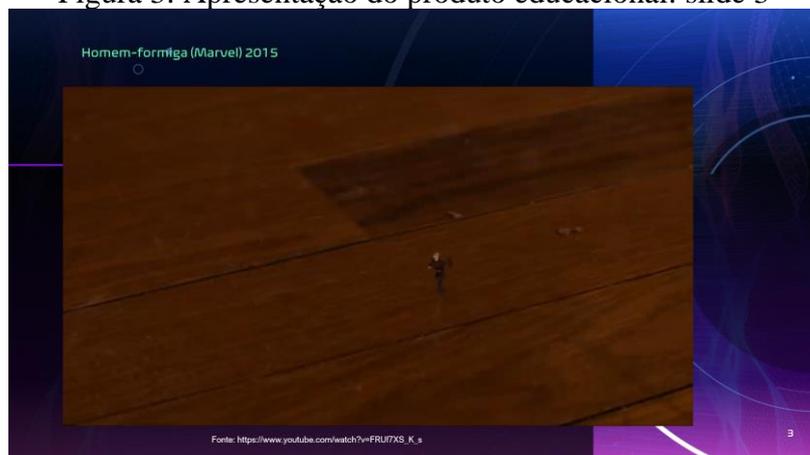
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 2: Apresentação do produto educacional: slide 2



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 3: Apresentação do produto educacional: slide 3



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 4: Apresentação do produto educacional: slide 4



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 5: Apresentação do produto educacional: slide 5



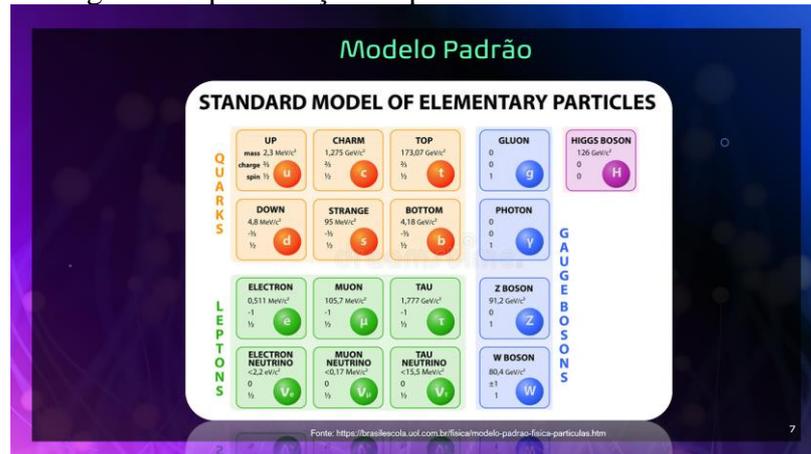
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 6: Apresentação do produto educacional: slide 6



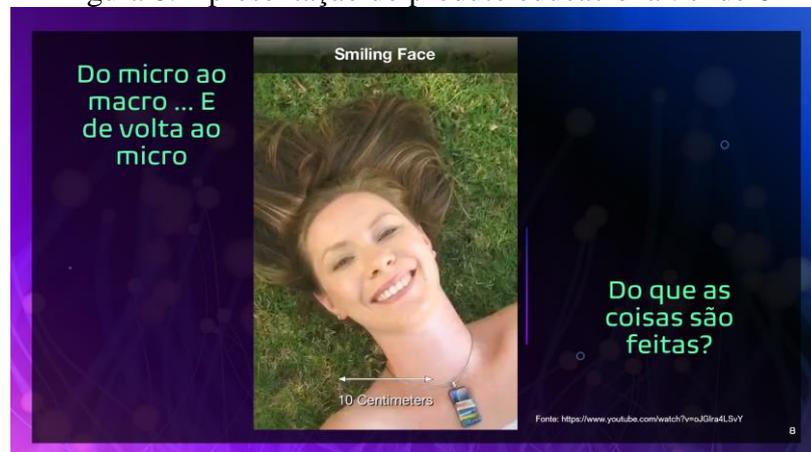
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 7: Apresentação do produto educacional: slide 7



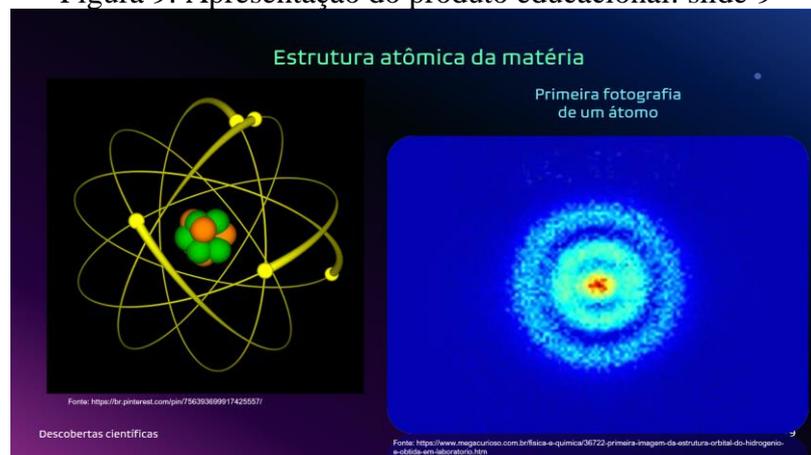
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 8: Apresentação do produto educacional: slide 8



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 9: Apresentação do produto educacional: slide 9



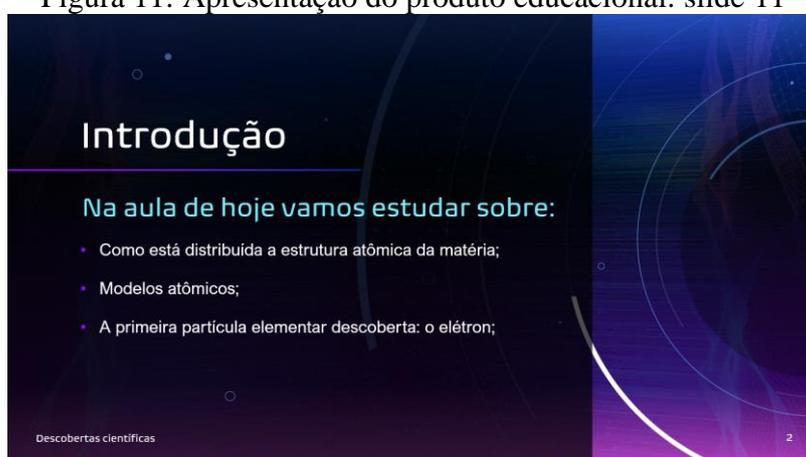
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 10: Apresentação do produto educacional: slide 10



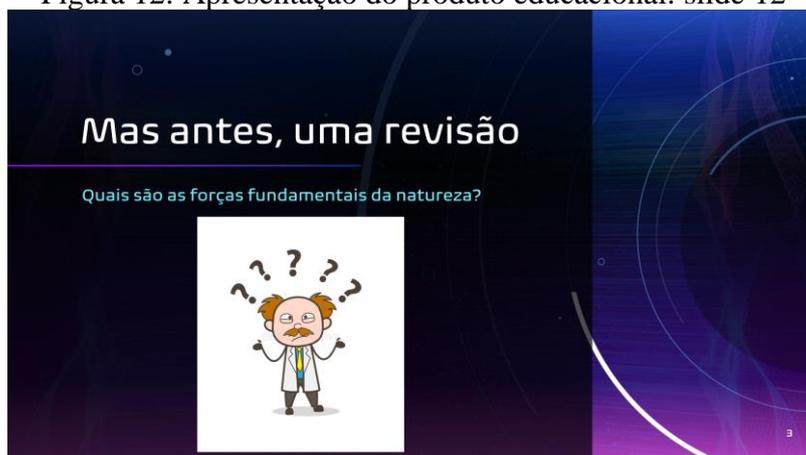
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 11: Apresentação do produto educacional: slide 11



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (202)

Figura 12: Apresentação do produto educacional: slide 12



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 13: Apresentação do produto educacional: slide 13

Visão geral

Rede cristalina
Fonte: <http://estudeadistancia.professordaniilo.com/?p=1718>

Estrutura do diamante
Fonte: <https://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php?title=Ficheiro:estruturaCristalinaDiamante.gif>

Rede cristalina da água
Fonte: <https://quimicaresponde.proec.uabc.edu.br/?p=131>

Descobertas científicas 4

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 14: Apresentação do produto educacional: slide 14

Evolução dos modelos atômicos

Modelos atômicos

Elétron
Núcleo
Nêutron
Próton

Modelo da bola de bilhar (Dalton, 1803)
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3D7W0V1803>

Modelo do pudim de passas (Thomson, 1897)
Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/atomo.htm>

Modelo do sistema planetário (Rutherford, 1911)
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3D7W0V1803>

Modelo das camadas eletrônicas (Bohr, 1913)
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3D7W0V1803>

Modelo quântico (Schrödinger, 1926)
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=3D7W0V1803>

Descobertas científicas 5

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 15: Apresentação do produto educacional: slide 15

Espalhamento de Rutherford

Legenda
● Núcleo
--- Nível de energia do elétron
--- Trajetória Partícula Alfa

Partícula Alfa
Energia
min max
 Exibir trajetória

Átomo
Número de prótons
20 73 100
Número de elétrons
20 110 150

6,0 x 10⁻¹⁰ m (escala atômica)

Descobertas científicas
Fonte: https://phet.colorado.edu/pt-br/atoms/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=pt_BR

6

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 16: Apresentação do produto educacional: slide 16



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 17: Apresentação do produto educacional: slide 17

Definição de partícula elementar:

Uma partícula elementar ou partícula fundamental é uma partícula que não possui nenhuma subestrutura.

- Em outras palavras, são as partículas indivisíveis da matéria, tais como os elétrons, os fótons e os quarks.

Descobertas científicas

Fonte: <https://galacienca.com.br/publicacao/segur/66-2938318/alternativa/Fisica/quarks-e-gluons>
allInstagramPublicacoes=1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 18: Apresentação do produto educacional: slide 18

A primeira partícula elementar descoberta: o elétron

Descobertas científicas

Fonte: <https://gifs.com/pligifs/electron>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 19: Apresentação do produto educacional: slide 19



Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/53081683>

Fonte: <https://muhammadfaridajit.ult.pbl.fisika.com/wp-content/uploads/2020/04/03%20Ca%20-%203%20docx.pdf>

Fonte: <https://cultura.cientifica.com/2015/06/30ml-tubo-de-raj-os-catodicos-eug-ly-cada-de-una-pieza-clara-del-ingles-xx/>

• Temos nos raios catódicos matéria em um novo estado, um estado no qual a subdivisão da matéria é levada muito além do que no estado gasoso ordinário: um estado no qual toda a matéria – isto é, matéria derivada de diferentes fontes, como hidrogênio, oxigênio etc. – é uma e do mesmo tipo; essa matéria é a substância da qual todos os elementos químicos são feitos.

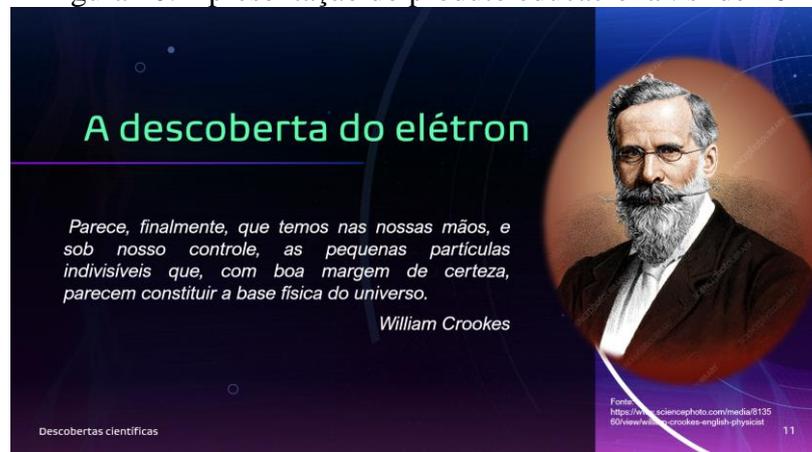
Joseph John Thomson

Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:J._J._Thomson_with_his_cathod-ray_tube.jpg

Descobertas científicas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 20: Apresentação do produto educacional: slide 20



A descoberta do elétron

Parece, finalmente, que temos nas nossas mãos, e sob nosso controle, as pequenas partículas indivisíveis que, com boa margem de certeza, parecem constituir a base física do universo.

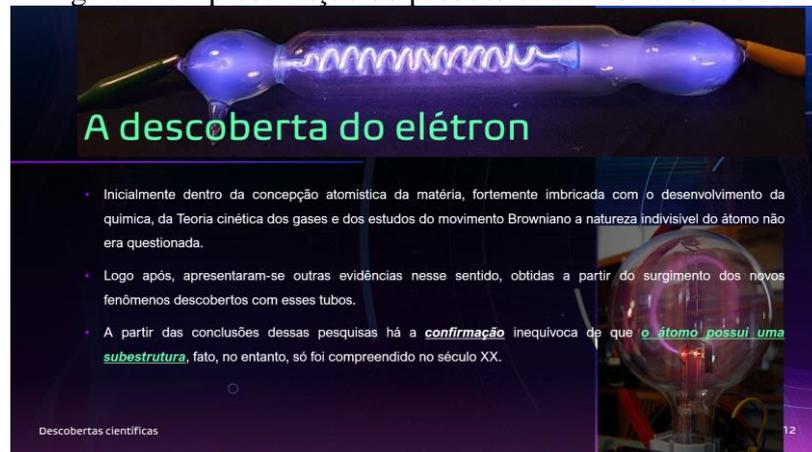
William Crookes

Fonte: <https://www.sciencephoto.com/media/9135/60/view/william-crookes-english-physicist>

Descobertas científicas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 21: Apresentação do produto educacional: slide 21



A descoberta do elétron

- Inicialmente dentro da concepção atomística da matéria, fortemente imbricada com o desenvolvimento da química, da Teoria cinética dos gases e dos estudos do movimento Browniano a natureza indivisível do átomo não era questionada.
- Logo após, apresentaram-se outras evidências nesse sentido, obtidas a partir do surgimento dos novos fenômenos descobertos com esses tubos.
- A partir das conclusões dessas pesquisas há a **confirmação** inequívoca de que **o átomo possui uma subestrutura**, fato, no entanto, só foi compreendido no século XX.

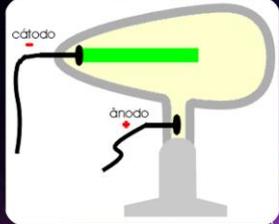
Descobertas científicas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 22: Apresentação do produto educacional: slide 22

A descoberta do elétron

- Foi a partir dos trabalhos experimentais sistemáticos dos físicos ingleses William Crookes e J. J. Thomson, buscando explicar a natureza do fecho que aparece dentro desses tubos, que essa área da investigação científica ganhou mais interesse.



Descobertas científicas

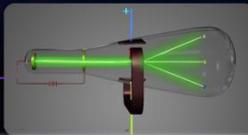
Fonte: <https://www.algo sobre.com.br/quimica/-descoberta-das-particulas-br/atomica.html>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 23: Apresentação do produto educacional: slide 23

O experimento de Thomson

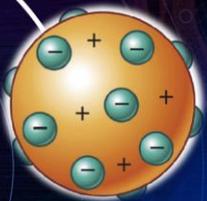
- Ao iniciar seus estudos sobre a natureza dos raios catódicos, em 1884, Thomson estabeleceu que, além dos campos magnéticos, os raios eram também desviados por campos eletrostáticos.
- Esses resultados foram decisivos em prol da visão corpuscular.




Fonte: <https://vovapasar.club/ampola-de-crookes-o-que-e-o-experimento/>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 24: Apresentação do produto educacional: slide 24

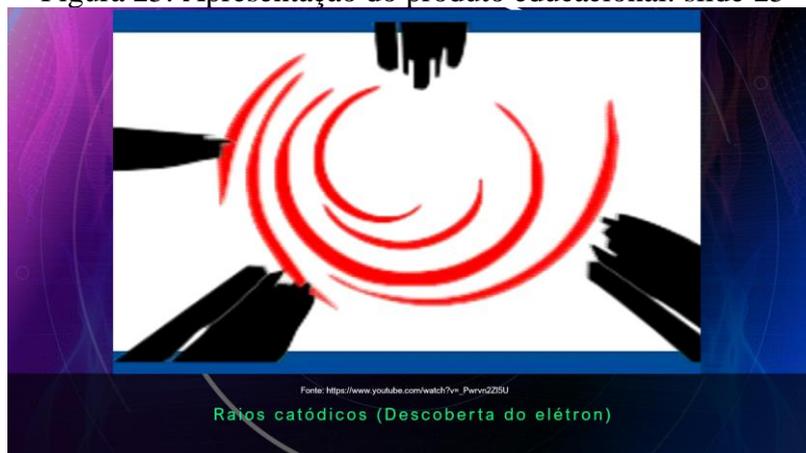



O estabelecimento do elétron como constituinte subatômico levou o próprio Thomson a propor um modelo para o átomo. Uma vez que os átomos como um todo são eletricamente neutros, admitir que os elétrons são constituintes atômicos implicava supor que o átomo teria também alguma "coisa" que tivesse **carga positiva**. Desse raciocínio nasceu o modelo atômico de Thomson.

Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/o-experimento-thomson-com-descargas-eletricas.htm>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 25: Apresentação do produto educacional: slide 25



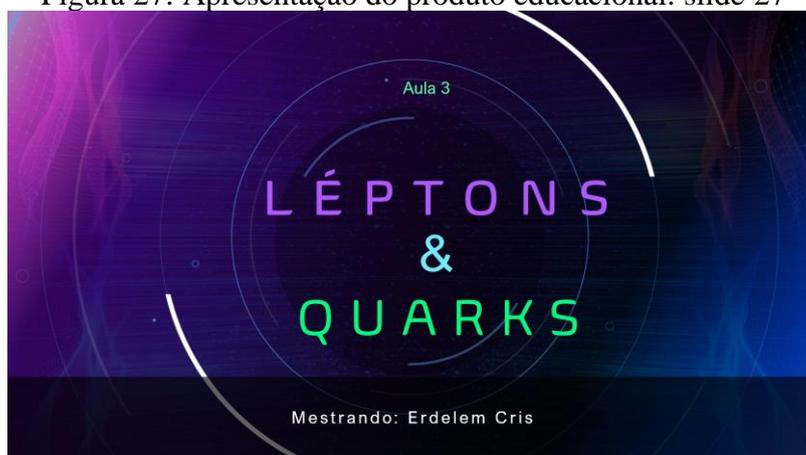
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 26: Apresentação do produto educacional: slide 26



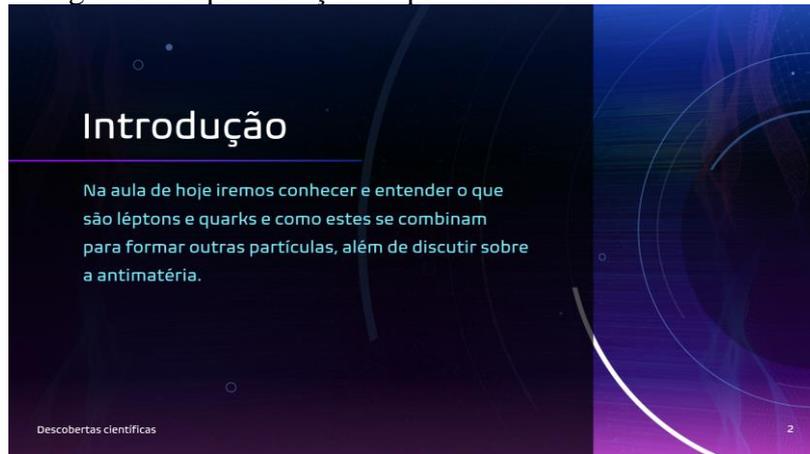
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 27: Apresentação do produto educacional: slide 27



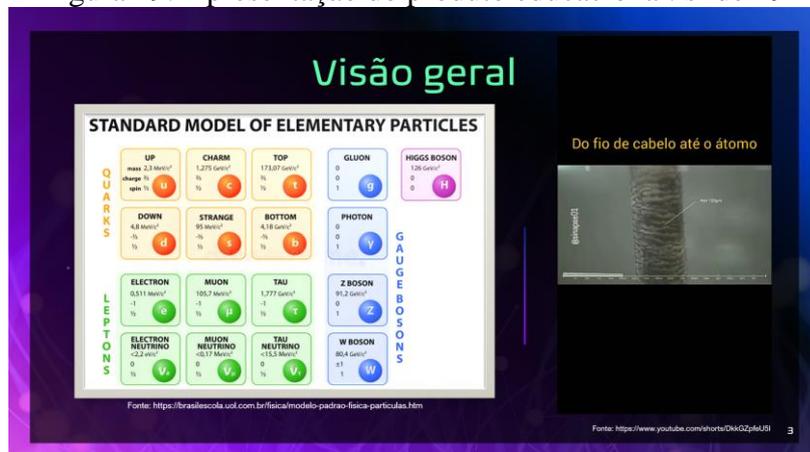
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (202)

Figura 28: Apresentação do produto educacional: slide 28



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 29: Apresentação do produto educacional: slide 29



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 30: Apresentação do produto educacional: slide 30



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 31: Apresentação do produto educacional: slide 31

Quarks

Também há seis tipos de quarks

Q U A R K S	UP mass 2,3 MeV/c ² charge 2/3 spin 1/2	CHARM 1,275 GeV/c ² 2/3 1/2	TOP 173,07 GeV/c ² 2/3 1/2
	DOWN 4,8 MeV/c ² -1/3 1/2	STRANGE 95 MeV/c ² -1/3 1/2	BOTTOM 4,18 GeV/c ² -1/3 1/2

Os quarks se unem formando os prótons e nêutrons dos núcleos atômicos e interagem através da força nuclear forte.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/modelo-padrao-fisica-particulas.htm>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 32: Apresentação do produto educacional: slide 32

Quarks

$u_p = +\frac{2}{3}e$

$d_{ow} = -\frac{1}{3}e$

Os quarks se unem formando os prótons e nêutrons dos núcleos atômicos e interagem através da força nuclear forte.

$$Q_{proton} = +\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +\frac{3}{3}e = +e$$

$$Q_{neutron} = +\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = \frac{-2+2}{3}e = 0$$

Fonte: <https://www.shutterstock.com/pl/search/quark>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 33: Apresentação do produto educacional: slide 33

Antipartículas

Em 1932, o físico C. D. Anderson detectou experimentalmente uma partícula idêntica ao elétron, apresentando porém carga positiva.

Essa partícula foi denominada antielétron e posteriormente **pósitron**.

Fonte: <https://records-of-the-cosmos.tumblr.com/post/167282788636/quantum-vacuum-quantum-vacuum-would-be-the-space>

Fonte: <https://resistivelive.globo.com/Ciencia/noticia/2016/11/na-terra-pode-resolver-cinco-grandes-problemas-da-fisica-de-uma-vez.html>

Descobertas científicas

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 34: Apresentação do produto educacional: slide 34



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 35: Apresentação do produto educacional: slide 35



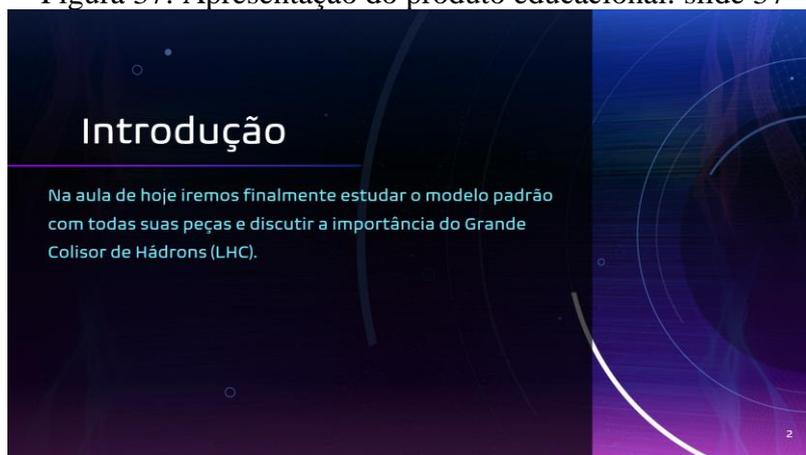
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 36: Apresentação do produto educacional: slide 36



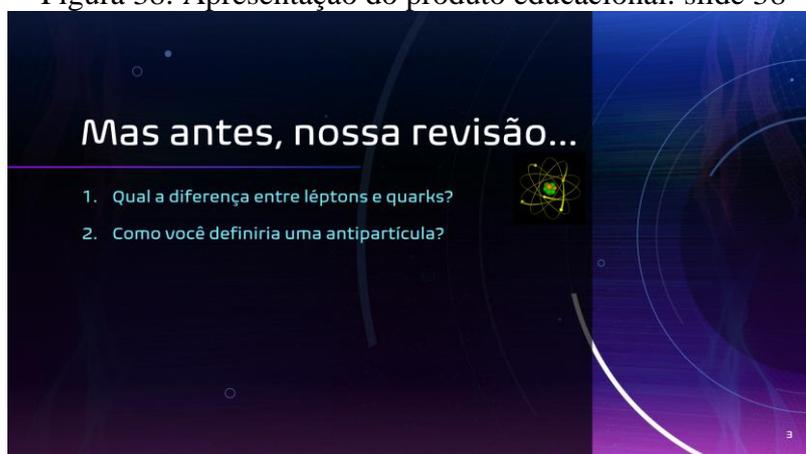
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 37: Apresentação do produto educacional: slide 37



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 38: Apresentação do produto educacional: slide 38



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 39: Apresentação do produto educacional: slide 39

Interações fundamentais e partículas mediadoras

Força nuclear forte

A força nuclear forte é a que mantém a coesão do núcleo atômico.

É a mais intensa das quatro forças fundamentais, cerca de 10^3 vezes a força gravitacional.

Entretanto sua ação só se manifesta em distâncias muito pequenas (núcleo atômico).

GLUON
0
0
1 g

A partícula mediadora da força forte é chamada de Glúon.

Fonte: <https://www.blogs.unicamp.br/ichirononpoag/fisica-de-particulas/>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 40: Apresentação do produto educacional: slide 40



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 41: Apresentação do produto educacional: slide 41

Interações fundamentais e partículas mediadoras

Força eletromagnética

Fonte: <https://www.indielico.com/que-es-el-electromagnetismo-blog-4-50-242/>

É a força que se manifesta entre partículas eletrizadas, englobando a elétrica e magnética.

Também explica a emissão das ondas eletromagnéticas pelos átomos quando seus elétrons mudam de nível energético.

Sua intensidade é cerca de 10^2 vezes menor que a força nuclear forte.

Fonte: <https://www.fecmundo.com.br/ciencia/258044-eletromagnetismo.htm>

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 42: Apresentação do produto educacional: slide 42

A partícula mediadora da força eletromagnética é o Fóton.

PHOTON	
0	γ
0	
1	

Fonte: <https://gifer.com/p/770>

Fonte: <https://www.essenciacambiarmento.br/saibaquantos/>

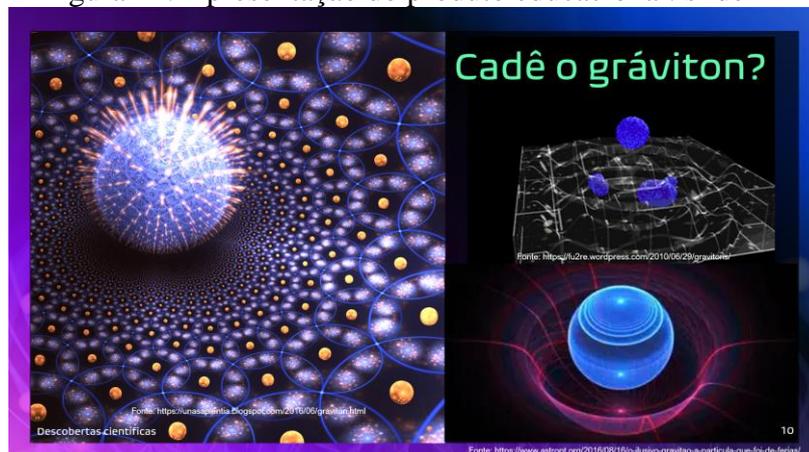
Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 43: Apresentação do produto educacional: slide 43



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 44: Apresentação do produto educacional: slide 44



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2023)

Figura 45: Apresentação do produto educacional: slide 45



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 49: Apresentação do produto educacional: slide 49



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)

Figura 50: Apresentação do produto educacional: slide 50



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2024)