

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DO
AMAZONAS - CAMPOS MANAUS CENTRO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 04

RAFAEL CARDOSO CORDEIRO

**ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: UMA ESTRATÉGIA PARA UMA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MODELO ATÔMICO NO ENSINO
MÉDIO.**

MANAUS - AM
2025

RAFAEL CARDOSO CORDEIRO

**ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: UMA ESTRATÉGIA PARA UMA
APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MODELO ATÔMICO NO ENSINO
MÉDIO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 04 UFAM e IFAM como requisito obrigatório para obtenção do diploma de Mestrado em Ensino de Física. **Área de concentração:** Ensino de Física. **Linha de Pesquisa:** Física no Ensino Médio.

Orientador: Dr. Jose Ricardo de Sousa

MANAUS - AM
2025

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

C794e Cordeiro, Rafael Cardoso.

Espectroscopia óptica: uma estratégia para uma aprendizagem significativa do modelo atômico no ensino médio / Rafael Cardoso Cordeiro. – Manaus, 2025.

116 p. : il. color.

Dissertação (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. Jose Ricardo de Sousa.

1. Física – ensino. 2. Física moderna. 3. Espectroscopia óptica. 4. Modelos atômicos. 5. Aprendizagem significativa. I. Souza, Jose Ricardo de. (Orient.) II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07

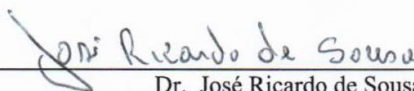
RAFAEL CARDOSO CORDEIRO

ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: UMA ESTRATÉGIA PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MODELO ATÔMICO NO ENSINO MÉDIO.

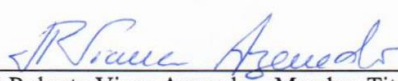
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 04 UFAM e IFAM como requisito obrigatório para obtenção do diploma de Mestrado em Ensino de Física. **Área de concentração:** Ensino de Física. **Linha de Pesquisa:** Física no Ensino Médio.

Aprovada em 15 de agosto de 2025.

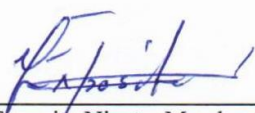
BANCA EXAMINADORA



Dr. José Ricardo de Sousa – Orientador
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



Dr. José Roberto Viana Azevedo – Membro Titular Interno
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)



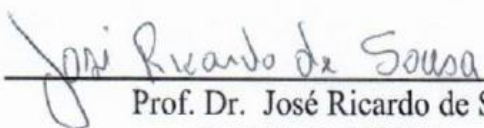
Dr. Yuri Exposito Nicot – Membro Titular Externo
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

MANAUS - AM
2025

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo 4

Ata da 79ª Defesa de Dissertação

Aos quinze dias do mês de agosto, do ano de dois mil e vinte e cinco, às 10h00, no Auditório José Leitão - UFAM, ocorreu a Defesa da Dissertação do mestrando **Rafael Cardoso Cordeiro**, intitulada: **ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: UMA ESTRATÉGIA PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MODELO ATÔMICO NO ENSINO MÉDIO**, do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 4 das Instituições de Ensino Superior: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) e Universidade Federal do Amazonas (UFAM). A Banca Examinadora foi composta pelo Prof. Dr. José Ricardo de Sousa (UFAM), Prof. Dr. Yuri Exposito Nicot (UFAM) e Prof. Dr. José Roberto Viana Azevedo ((UFAM). O Professor Doutor José Ricardo de Sousa, Presidente, deu início aos trabalhos, convidando os membros a comporem a Banca Examinadora. O Presidente fez a leitura dos procedimentos para defesa de dissertação, e convocou o mestrando para fazer a exposição de seu trabalho que, em seguida, foi arguido pelos membros da Banca Examinadora. Após a arguição, a Banca Examinadora reuniu-se privativamente e decidiu pela aprovação do trabalho. Ao final, os presentes foram chamados para tomarem conhecimento do resultado da avaliação, o Presidente da banca comunicou ao interessado que feitas às devidas correções na dissertação, conforme sugestão da banca Examinadora, o discente é obrigado a entregar, na secretaria do polo 4, até sessenta (60) dias após a data da defesa, uma (01) via impressa e encadernada no formato capa dura, e uma via(01) digital em formato PDF, para os trâmites necessários à concessão do diploma, conforme Resolução Nº.47 – CONSUP/IFAM de 13 de julho de 2015. Nada mais havendo a tratar, foi lavrado a presente Ata que, após lida e aprovada, será assinada pelos presentes.



Prof. Dr. José Ricardo de Sousa
Presidente - UFAM

Documento assinado digitalmente

gov.br

YURI EXPOSITO NICOT
Data: 28/08/2025 08:22:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Yuri Exposito Nicot
Membro Externo - UFAM

Documento assinado digitalmente

gov.br

JOSE ROBERTO VIANA AZEVEDO
Data: 27/08/2025 20:55:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Roberto Viana Azevedo
Membro Interno - UFAM

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa, com profunda gratidão e carinho, aos meus amados pais, Júlio Lopes Cordeiro e Joana Cardoso Cordeiro (*in memoriam*), cuja ausência física não apaga a presença constante em minha trajetória.

À minha esposa, Edna Batista dos Santos Cordeiro, e ao meu filho, Enzo Rafael dos Santos Cordeiro, pelo amor, paciência e apoio incondicional que me oferecem diariamente. O incentivo, a presença amorosa e a confiança depositada em mim foram, e continuam sendo, fontes inesgotáveis de força e motivação para seguir em frente, buscar novos conhecimentos e me qualificar diante dos desafios do mundo contemporâneo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela força e pela sabedoria concedidas durante toda esta caminhada acadêmica. Sua presença foi essencial nos momentos de dificuldade e de superação.

À minha família, em especial à minha esposa e ao meu filho, pelo amor, compreensão e incentivo incondicional que me sustentaram nos dias mais desafiadores. Estendo minha gratidão aos meus pais, que, com seus exemplos de dedicação e coragem, sempre foram minha maior inspiração.

Ao meu orientador, Professor Dr. Jose Ricardo de Sousa, pela orientação precisa, paciência, disponibilidade e pela confiança depositada em meu trabalho. Seu olhar crítico e incentivo foram fundamentais para a concretização desta pesquisa.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, polo 04 (UFAM/IFAM), por compartilharem seus conhecimentos com excelência, contribuindo de maneira significativa para minha formação acadêmica e profissional.

Aos colegas do MNPEF, pelas ricas trocas de saberes, pelo companheirismo e apoio mútuo ao longo dessa jornada. A convivência com vocês foi essencial para tornar o percurso mais leve e enriquecedor.

Ao professor Haroldo de Almeida Guerreiro, do Laboratório de Física da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela valiosa contribuição na construção do espectrômetro, bem como pelas orientações técnicas quanto ao seu uso e calibração com o respectivo software.

Aos colegas do grupo de estudo, pela colaboração constante por meio de sugestões de leituras, discussões e compartilhamento de conhecimentos. Em especial, agradeço ao colega Ismael Freire Bata, cuja dedicação e apoio foram fundamentais ao longo deste percurso acadêmico.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo apoio financeiro, que foi determinante para viabilizar esta pesquisa.

À Escola Estadual Alice Salerno, pelo acolhimento e por permitir a realização das atividades previstas nesta pesquisa, além do engajamento e participação dos(as) estudantes e da equipe pedagógica.

Por fim, agradeço a todos e todas que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade. Cada gesto de apoio, cada palavra de incentivo e cada colaboração foram fundamentais para a realização deste sonho.

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

“Cada substância revela sua presença pela luz que emite ou absorve. O espectro é sua assinatura.” (Kirchoff, p. 161, 1860)

RESUMO

Este trabalho analisou a efetividade de uma sequência didática (SD), fundamentada na Aprendizagem Significativa, que utiliza um experimento de espectroscopia óptica de baixo custo para promover a reconstrução de subsunçores e a apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia em alunos do 3º ano do Ensino Médio. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, com delineamento exploratório e descritivo. Para coleta de dados utilizou-se testes conceituais discursivos (pré-intervenção) e objetivo (pós-intervenção), registros de observação. A análise dos dados foi qualitativa utilizando o método da análise do conteúdo das respostas dos alunos. A SD foi aplicada a 25 alunos de uma escola pública em Manaus, Amazonas. Os resultados indicaram que a intervenção pedagógica foi eficaz. No pré-teste, a maioria dos alunos não demonstrou evidências robustas de aprendizagem significativa sobre os temas. No entanto, após a implementação da SD, considerando o ganho normalizado de Hake houve um ganho significativo de aprendizagem em todos os tópicos abordados. Especificamente, em relação à Lei de Wien, o ganho normalizado de Hake foi de 0,79, considerado alto, indicando que os alunos compreenderam a relação entre comprimento de onda e temperatura. Para os conceitos de cores dos corpos (absorção e reflexão), o ganho foi de 0,94, também classificado como alto, mostrando que os alunos entenderam o processo de formação das cores. No que diz respeito aos modelos atômicos, o ganho para o modelo de Dalton foi de 0,47, para Thomson de 0,67, para Rutherford de 0,46 e para Bohr de 0,68. Embora esses ganhos sejam considerados médios, ainda representam uma melhora significativa em comparação com métodos tradicionais. Por fim, para as linhas espectrais, o ganho foi de 0,78, um ganho alto. O ganho normalizado geral da SD foi de 0,67, o que indica que a metodologia de ensino empregada promoveu uma participação ativa dos alunos e o desenvolvimento da compreensão conceitual, caracterizando uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: espectroscopia óptica; modelos atômicos; aprendizagem significativa; ensino de física moderna; ensino de física.

ABSTRACT

This study analyzed the effectiveness of a **didactic sequence (DS)**, grounded in **Meaningful Learning theory**, which utilizes a low-cost optical spectroscopy experiment to promote the reconstruction of subsumers and the acquisition of concepts related to atomic models and spectroscopy among 11th-grade high school students. The research adopted a **qualitative approach** with an exploratory and descriptive design. Data collection involved both pre-intervention discursive and post-intervention objective conceptual tests, as well as observation records.

Data were analyzed qualitatively using the **content analysis method** applied to the students' responses. The DS was implemented with 25 students from a public school in Manaus, Amazonas. The results indicated that the pedagogical intervention was effective. In the pre-test, the majority of students did not demonstrate robust evidence of meaningful learning on the topics. However, after the DS was implemented, a **significant learning gain** was observed across all topics, as measured by Hake's normalized gain.

Specifically, for **Wien's Law**, the normalized Hake gain was 0.79, which is considered high, indicating that students understood the relationship between wavelength and temperature. For the concepts of **object color (absorption and reflection)**, the gain was 0.94, also classified as high, showing that students grasped the process of color formation. Regarding the **atomic models**, the gains were 0.47 for Dalton, 0.67 for Thomson, 0.46 for Rutherford, and 0.68 for Bohr. Although these gains are considered medium, they still represent a significant improvement compared to traditional methods. Finally, for **spectral lines**, the gain was 0.78, a high gain. The overall normalized gain of the DS was 0.67, which indicates that the teaching methodology employed fostered active student participation and the development of conceptual understanding, thus characterizing meaningful learning.

Keywords: optical spectroscopy; atomic models; meaningful learning; physics education; modern physics teaching.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa conceitual da aprendizagem.	30
Figura 2 - (a) Um vetor de campo elétrico atravessa um pequeno quadrado de uma superfície plana. (b) Apenas a componente x atravessa o quadrado; a componente y é paralela ao quadrado. (c) O vetor área do quadrado é	37
Figura 3 - Indução magnética	40
Figura 4 - Sentido da corrente induzida.....	42
Figura 5 - (a) Um capacitor de placas paralelas circulares, visto de lado, está sendo carregado por uma corrente constante i. (b) Uma vista do interior do capacitor, olhando na direção da placa que está à direita em (a).	46
Figura 6 – Representação da propagação de uma onda eletromagnética	50
Figura 7 - Espectro eletromagnético	52
Figura 8 - linha do tempo dos físicos que contribuíram para o desenvolvimento da espectroscopia.	53
Figura 9 – Ilustração do experimento de Wollaston	54
Figura 10 - Franjas de Fraunhofer	55
Figura 11 - espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff	56
Figura 12 - As leis da espectroscopia	58
Figura 13 - Espectroscopia da luz solar	58
Figura 14 - Identificação dos elementos químicos	59
Figura 15 - $\nu_m \propto T$	61
Figura 16 - Representação da molécula	62
Figura 17 - Representações de moléculas gasosa.	63
Figura 18 - Tubo de Raios Catódicos	65
Figura 19 – Ilustração do experimento de Rutherford.....	66
Figura 20 - Modelo atômico de Rutherford.....	66
Figura 21 – Representação do modelo atômico quântico	69
Figura 22 - Poço Potencial Infinito.....	71
Figura 23 - Círculo didático da aprendizagem significativa dos modelos atômicos	88
Figura 1 – Esquema ilustrativo da ocorrência da aprendizagem significativa.	135
Figura 2. Círculo Didático para Aprendizagem Significativa do Modelo atômico.	141
Figura 3 - Ilustração de estrelas de distintas cores.	146

Figura 4 - Ilustração da situação problema.	147
Figura 5 - Ilustração do experimento de Rutheford.....	148
Figura 6 – ilustração dos níveis de energia acessíveis.	149
Figura 7 - espectro de emissão de distintos átomos, enfatizando o fato de cada possuir um espectro distinto.....	150
Figura 8 - Figura ilustrativa do Espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff.	157
Figura 9 - Ilustração das leis básicas que regem os espectros de emissão e absorção.	157
Figura 10 – Espectro de emissão de distintos átomos para enfatizar as particularidades da emissão de cada átomo	158
Figura 11 - Espectro Eletromagnético	160
Figura 12 – experimento de espectroscopia ótica de baixo custo.....	165
Figura 13 – visão interna do posicionamento experimento de espectroscopia ótica de baixo custo.....	165
Figura 14 – Espectro observado a partir do experimento de espectroscopia ótica.	166

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Resposta do aluno 17 ao item 1 do pré-teste categorizada como categoria 2.	84
Imagem 2 - Resposta do aluno 16 ao item 1 do pré-teste categorizada como categoria 3.	84
Imagem 3 – Resposta do aluno 17 ao item 2 do pré-teste categorizada como categoria 2.	85
Imagem 4 – Resposta do aluno 17 ao item 2 do pré-teste categorizada como categoria 2.	85
Imagem 5 - Resposta do aluno 41 ao item 3 do pré-teste categorizada como categoria 1.	87
Imagem 6 - Resposta do aluno 15 ao item 4 do pré-teste categorizada como categoria 2.	87
Imagem 7 - Resposta do aluno 02 ao item 5 do pré-teste categorizada como categoria 2.	89
Imagem 8 - Resposta do aluno 40 ao item 5 do pré-teste categorizada como categoria 1.	89
Imagem 9 - Resposta do aluno 25 ao item 6 do pré-teste categorizada como categoria 1.	91
Imagem 10 - Resposta do aluno 40 ao item 7 do pré-teste categorizada como categoria 1.	92
Imagem 11 - Resposta do aluno 33 ao item 7 do pré-teste categorizada como categoria 2.	92
Imagem 12 - Resposta do aluno 21 ao item 9 do pré-teste categorizada como categoria 2.	95
Imagem 13 - Resposta do aluno 12 ao item 10 do pré-teste categorizada como categoria 2. ..	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro descritivo das categorias de análise.	76
Quadro 1 - Quadro sintético das aulas.....	127
Quadro 2 - Alinhamento curricular da SD com as competências específicas e habilidades da CNT.	132
Quadro 3 – Quadro da aula 01	143
Quadro 4 - Quadro descritivo das categorias de análise.	151
Quadro 5 – Quadro da aula 02.....	153
Quadro 6 - Propriedades básicas de ondas e partículas.	155
Quadro 7 - Quadro da aula 03.....	159
Quadro 8 - Materiais utilizados	163
Quadro 9 - Quadro da aula 04.....	170
Quadro 10 - Quadro da aula 05.....	174

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 1.	77
Tabela 2 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 2.	78
Tabela 3 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 3.	79
Tabela 4 - Desempenho dos alunos aos itens do pré-teste em conformidade com as categorias.	80
Tabela 5 – Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 1.	80
Tabela 6 - Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 2.	80
Tabela 7 - Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 3.	81
Tabela 8 – Desempenho dos alunos aos itens do pós-teste em conformidade com as categorias.	81
Tabela 9 – Alternativas assinaladas pelos alunos em cada item no pós-teste.	82
Tabela 10 – Quadro sintético dos ganhos de aprendizagem por objeto de conhecimento.	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 1 do pré-teste.....	83
Gráfico 2 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 1 do pós-teste.....	83
Gráfico 3 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 2 do pré-teste.	85
Gráfico 4 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 2 do pós-teste.....	85
Gráfico 5 – Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 3 do pré-teste.....	86
Gráfico 6 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 4 do pré-teste.	86
Gráfico 7 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 3 do pós-teste.....	87
Gráfico 8 - Respostas dos alunos ao item 5 do pré-teste distribuídas por categoria.	89
Gráfico 9 - Respostas dos alunos ao item 5 do pós-teste distribuídas por categoria.	89
Gráfico 10 - Respostas dos alunos ao item 6 do pré-teste distribuídas por categoria.	90
Gráfico 11 - Respostas dos alunos ao item 6 do pós-teste distribuídas por categoria.	90
Gráfico 12- Respostas dos alunos ao item 7 do pré-teste distribuídas por categoria.	92
Gráfico 13 - Respostas dos alunos ao item 7 do pós-teste distribuídas por categoria.	92
Gráfico 14 - Respostas dos alunos ao item 8 do pré-teste distribuídas por categoria.	93
Gráfico 15 - Respostas dos alunos ao item 8 do pós-teste distribuídas por categoria.	93
Gráfico 16 - Respostas dos alunos ao item 9 do pré-teste distribuídas por categoria.	95
Gráfico 17 - Respostas dos alunos ao item 10 do pré-teste distribuídas por categoria.	95
Gráfico 18 - Respostas dos alunos ao item 9 do pós-teste distribuídas por categoria.	95
Gráfico 19 - Respostas dos alunos ao item 10 do pós-teste distribuídas por categoria.	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVOS	20
1.1.1	Objetivo Geral.....	20
1.1.2	Objetivos Específicos.....	20
1.2	APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3	TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	29
3.1	OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DE AUSUBEL	30
3.2	A ESTRUTURA COGNITIVA	30
3.3	A APRENDIZAGEM	31
3.3.1	Aprendizagem significativa	31
3.3.2	Aprendizagem Mecânica.....	32
3.3.3	Aprendizagem por descoberta e por recepção	33
3.3.4	Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa.....	34
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	36
4.1	ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: EQUAÇÕES DE MAXWEL.....	36
4.2	LEI DE GAUSS DA ELETRICIDADE	37
4.3	LEI DE GAUSS PARA O MAGNETISMO	39
4.4	LEI DE FARADAY - LENZ.....	39
4.5	LEI DE AMPÈRE ANTES DE MAXWEL.....	44
4.6	A INCONSISTÊNCIA DA LEI DE AMPÈRE E A CORREÇÃO DE MAXWELL ...	46
4.7	CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA.....	52
4.7.1	Isaac Newton (1643 – 1727).....	53
4.7.2	William Hyde Wollaston (1766 – 1828).....	53
4.7.3	Joseph Von Frunhofer (1787 – 1826)	54
4.7.4	Gustav Kirchhoff E Robert Bunsen (1834-1877)	55
4.7.5	Pierre Julis Janssen (1824-1907)	58
4.8	LEI DO DESLOCAMENTO DE WIEN.....	59
4.9	ALGUNS MODELOS ATÔMICOS NO COMEÇO DO SÉCULO XX NARRATIVA HISTÓRICA	62
4.9.1	Modelo Atômico De John Dalton (1766 – 1844)	62
4.9.2	Modelo Atômico Joseph John Thomson (1856-1940).....	64
4.9.3	O Atômico Ernest Rutherford.....	65

4.9.4	O Modelo Atômico De Bohr.....	67
4.10	ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: INTERAÇÃO RADIAÇÃO – MATÉRIA (MODELO SEMI-CLÁSSICO).....	69
5	METODOLOGIA.....	72
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
6.1	EXPLORAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO.....	75
6.2	TRATAMENTO DOS RESULTADOS	83
7	CONCLUSÕES.....	99
	REFERÊNCIAS.....	100
	APÊNDICE A: PRÉ-TESTE.....	103
	APÊNDICE B: PÓS-TESTE	108
	APÊNDICE C: CARTA DE ANUÊNCIA.....	113
	APÊNDICE D: TERMO DE CONSCIENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	114
8	PRODUTO EDUCACIONAL	118
9	CARTA AOS PROFESSORES DE FÍSICA.....	123
10	APRESENTAÇÃO	125
10.1	IDENTIFICAÇÃO.....	125
10.2	PUBLICO ALVO.....	126
10.3	NÚMERO DE AULAS.....	126
10.4	QUADRO SINTÉTICO DAS AULAS.....	127
11	JUSTIFICATIVA	128
12	ALINHAMENTO CURRICULAR.....	131
12.1	COMPETÊNCIA GERAL 1	131
12.2	COMPETÊNCIA GERAL 2	132
13	OBJETIVOS DE APRENDIZAGENS	134
13.1	OBJETIVO GERAL	134
13.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	134
14	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	135
14.1	OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DE AUSUBEL	135
14.1.1	A estrutura cognitiva.....	136
14.1.2	Aprendizagem.....	136
14.1.3	Aprendizagem Significativa.....	136
14.1.4	Aprendizagem por descoberta e por recepção	138
14.2	METODOLOGIA DE ENSINO	140

15	DETALHAMENTO DAS AULAS.....	142
15.1	AULA 01: PRÉ-TESTE DIAGNÓSTICO.....	143
15.2	AULA 02: DA ESPECTROSCOPIA AO MODELO ATÔMICO.....	153
15.3	AULA 03: A INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E OS MODELOS ATÔMICOS DE DALTON E THOMSON.....	159
15.4	AULA 04: O EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA E OS MODELOS ATÔMICOS.....	170
15.5	AULA 05: DIAGNÓSTICO DE APRENDIZAGEM PÓS-INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA.....	174
15.5.1	Análise dos distratores de cada item.....	177
16	PROJEÇÕES E DESAFIOS FUTUROS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	182
17	REFERÊNCIA.....	183

1 INTRODUÇÃO

O ensino de conceitos avançados da Física no nível do Ensino Médio, como os modelos atômicos e os fundamentos da espectroscopia óptica, representa um desafio pedagógico considerável. Esses temas, que exigem certo grau de abstração e envolvem linguagem matemática e científica específica, muitas vezes não são facilmente assimilados pelos estudantes, sobretudo quando a abordagem adotada se limita à exposição teórica e à memorização de fórmulas e definições.

A espectroscopia óptica, por exemplo, constitui um campo essencial da Física moderna que investiga a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria. Seu estudo permite compreender fenômenos fundamentais, como as linhas espectrais emitidas ou absorvidas pelos átomos, e tem aplicações amplas e relevantes: desde a identificação da composição química de estrelas e galáxias, até o diagnóstico de materiais em laboratórios e processos industriais.

No entanto, apesar de sua importância científica e tecnológica, a espectroscopia óptica costuma ser abordada de forma superficial nas salas de aula, dificultando a construção de um conhecimento realmente significativo. Muitos estudantes enfrentam dificuldades em estabelecer relações claras entre os modelos teóricos — como os níveis de energia quantizados nos átomos — e os fenômenos observáveis, como os espectros de emissão e absorção. Essa lacuna entre teoria e prática compromete a compreensão dos princípios subjacentes e, conseqüentemente, limita o desenvolvimento de uma visão integrada da ciência (Moreira, 2019).

Diante desse contexto, surge a questão central desta pesquisa: qual é a efetividade de uma sequência didática, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa, que utiliza o experimento de espectroscopia óptica de baixo custo para promover a reconstrução de subsunçores e a apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia em alunos do 3º ano do Ensino Médio? Esta problemática visa delimitar os desafios da mediação pedagógica e investigar estratégias que possam favorecer a compreensão profunda e duradoura desses conteúdos (Libânio, 2017).

A relevância do estudo reside tanto na contribuição teórica, ao aprofundar a aplicação da Aprendizagem Significativa no ensino de conteúdos científicos complexos, quanto na prática pedagógica, pela oferta de um recurso experimental de baixo custo que estimula a experimentação e o engajamento dos estudantes. Dessa forma, o trabalho pode auxiliar professores na superação das dificuldades típicas do ensino desses temas e promover uma aprendizagem mais significativa e contextualizada (Tardif, 2014).

Metodologicamente, a pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, com delineamento exploratório e descritivo, fundamentada na análise de dados coletados por meio de testes conceituais pré e pós-intervenção, registros de observação e análise qualitativa das respostas dos alunos. Essa combinação permite compreender as transformações na estrutura cognitiva dos estudantes e avaliar a efetividade da intervenção pedagógica (Lakatos; Marconi, 2010).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a efetividade de uma sequência didática, fundamentada na Aprendizagem Significativa e utilizando o experimento de espectroscopia óptica de baixo custo, na reconstrução de subsunçores e na apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia por alunos do 3º ano do Ensino Médio.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar uma sequência didática que integre um experimento de baixo custo em espectroscopia óptica aos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, com o intuito de superar as dificuldades de aprendizagem relacionadas aos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia, diagnosticadas no pré-teste;
- b) Diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos, bem como a presença de subsunçores relevantes à apropriação dos conceitos de natureza da luz, reflexão, absorção, Lei de Wien, estrutura da matéria, modelos atômicos e linhas espectrais, por meio da aplicação de um teste conceitual discursivo;
- c) Aplicar a sequência didática elaborada, com o suporte do experimento de espectroscopia óptica, visando à reconstrução de subsunçores e à apropriação significativa dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia pelos estudantes;
- d) Avaliar a efetividade da sequência didática e do experimento de espectroscopia óptica na reconstrução de subsunçores e na apropriação significativa dos conceitos abordados, com base na análise comparativa dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste;
- e) Propor um produto educacional, sob a forma de sequência didática estruturada, que auxilie no ensino de modelos atômicos e espectroscopia, considerando as dificuldades de aprendizagem identificadas e os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa.

1.2 APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos, organizados de forma a conduzir o leitor progressivamente pelos aspectos teóricos, metodológicos e empíricos da pesquisa. O primeiro capítulo apresenta a fundamentação teórica, com foco na espectroscopia óptica, nos modelos atômicos e nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, que servem como base conceitual para a proposta didática.

No segundo capítulo, apresentasse uma breve revisão de literatura de trabalhos correlatos, objetivando não incorrer em plágio involuntário, de apontarmos lacunas de pesquisa e como este trabalho pode estar contribuindo para responder a estas lacunas.

Os capítulos três e quatro, apresentamos, respectivamente, a fundamentação teórica da aprendizagem e a fundamentação teórica de física da espectroscopia.

No quinto capítulo, descreve-se a metodologia empregada na condução da investigação, incluindo os procedimentos de coleta e análise dos dados, o perfil dos participantes e o contexto educacional em que o estudo foi realizado.

O sexto capítulo, discutem-se os resultados obtidos, com base nas respostas dos estudantes, nas observações realizadas durante a aplicação e na análise qualitativa dos dados. Essa análise busca evidenciar em que medida a proposta contribuiu para uma aprendizagem significativa dos conteúdos abordados.

Por fim, no sétimo capítulo apresenta-se as considerações finais, incluindo uma reflexão crítica sobre os principais achados do estudo, suas limitações e sugestões de aprimoramento e de encaminhamentos para pesquisas futuras, conforme orientações metodológicas de Gil (2008).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado a revisão de literatura pois foi de suma importância para o desenvolvimento da pesquisa. Nesse sentido, conhecer a importância histórica da Espectrometria no desenvolvimento científico (especialmente na compreensão dos elementos que constitui a matéria Atômica) mostra a relevância do experimento na comprovação e na descoberta de novos fenômenos Físico. Indubitavelmente, para a fundamentação teórica trago o experimento da Espectrometria Óptica de baixo custo como uma estratégia didática construtivista de grande relevância como recurso pedagógico. É importante ressaltar, que aliado a esses recuso está a Teoria da Aprendizagem Significativa como norteadora para o Ensino de Física.

Santana; Santos (2017) em seu artigo publicado no **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, intitulado de Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para a discussão de conceitos de Física Moderna no ensino médio, fornece elementos interessantes para a problemática em pauta. A relevância deste trabalho para a referida pesquisa dar-se-á por:

- 1) Apresentar um tópico de física moderna e evidenciar a importância do mesmo para a compreensão de fenômenos naturais e tecnológicos presentes no mundo contemporâneo;
- 2) Promover o letramento científico dos estudantes;
- 3) Buscar alternativas para facilitar o aprendizado desses conceitos, como o uso de atividades experimentais, simulações e discussões em grupo;
- 4) Discutir a aplicação de uma sequência didática para o ensino de conceitos de física moderna no ensino médio, especificamente os modelos atômicos.

O problema de pesquisa que motivou o trabalho é a dificuldade em responder à pergunta: "Como o homem sabe do que o Sol é feito se ele nunca esteve lá?". Para responder a essa pergunta, o objetivo principal do trabalho foi elaborar e aplicar uma sequência didática que abordasse conceitos de física moderna, como:

- 1) Espectroscopia;
- 2) Quantização da energia e da radiação e;
- 3) Modelos atômicos de Thomson, Rutherford e Bohr.

O texto não explicita uma teoria de aprendizagem específica, mas descreve uma sequência didática que utiliza uma variedade de metodologias de ensino, incluindo: atividades experimentais; simulações; vídeos e; elaboração de textos e questões por parte dos estudantes.

A sequência didática foi aplicada a 61 alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola privada situada no município de São José (Grande Florianópolis).

A sequência didática (SD) foi composta por 13 aulas de 50 minutos, divididas em dois blocos:

- 1) **Bloco 1:** Abordagem da espectroscopia do século XIX (aulas 1 a 7).
- 2) **Bloco 2:** Abordagem dos modelos atômicos e conceitos de física moderna (aulas 8 a 13).

A coleta de dados foi realizada por meio de:

- 1) Registros em áudio das aulas;
- 2) Coleta da produção textual dos estudantes e;
- 3) Aplicação de duas avaliações escritas e individuais.

A análise dos dados foi qualitativa, buscando identificar a maneira como os estudantes articularam os conceitos nas respostas das questões, apresentando cinco categorias ou grupos de respostas:

- 1) Articularam corretamente os conceitos de Física Moderna (FM) necessários para responder adequadamente a referida questão.
- 2) Articularam corretamente alguns dos conceitos de FM necessários para responder adequadamente a referida questão.
- 3) Articulam corretamente conceitos de FM tratados ao longo da SD, mas que não estavam diretamente relacionados com a referida questão.
- 4) Não articularam adequadamente nenhum dos conceitos de FM tratados ao longo da sequência didática.
- 5) Deixadas em branco.

Os resultados da pesquisa indicaram que a sequência didática foi bem-sucedida em relação ao entendimento dos estudantes sobre a quantização da energia e da radiação. Mais de 50% dos estudantes elaboraram respostas satisfatórias para as questões relacionadas a esses temas.

No entanto, os estudantes apresentaram dificuldades em relacionar as transições eletrônicas com a formação dos espectros. A análise das respostas mostrou que, mesmo

compreendendo os conceitos de quantização, os estudantes não conseguiram articular esses conceitos para explicar a emissão dos espectros discretos.

A pesquisa também apontou para a necessidade de aprimorar a abordagem dos processos de transição eletrônica e a relação entre energia e frequência do fóton.

O trabalho contribui para a área de ensino de física ao apresentar uma proposta de sequência didática para o ensino de física moderna no ensino médio. A sequência didática utiliza diferentes abordagens, como atividades experimentais, simulações, vídeos e discussões em grupo, buscando diversificar o processo de ensino e aprendizagem.

Além disso, o trabalho apresenta uma análise detalhada das dificuldades dos estudantes em relação ao aprendizado dos conceitos de física moderna, o que pode auxiliar no desenvolvimento de novas estratégias de ensino. A pesquisa também discute o uso de simulações no ensino de física, apontando para a necessidade de um planejamento cuidadoso e acompanhamento por parte do professor para garantir a eficácia dessa ferramenta.

Um dos pontos a serem melhorados no trabalho de (Santana e Santos, 2017) é a utilização de questões que investigam apenas a assimilação do conteúdo, ignorando a averiguação da capacidade dos alunos em aplicá-los a situações problemas.

Em um outro trabalho, Santos (2020) desenvolve uma sequência didática sobre a espectroscopia e suas relações com o cotidiano para alunos do 8º ano do Ensino Fundamental. A análise dessa obra se tornar relevante para este trabalho à medida que o autor:

- 1) Destaca a importância de conhecer a estrutura cognitiva dos alunos para promover uma aprendizagem significativa;
- 2) Utiliza a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria da Carga Cognitiva como base para o desenvolvimento da sequência e;
- 3) Busca promover a aprendizagem da espectroscopia.

O problema de pesquisa do autor não é apresentado de maneira explícita, mas a sequência didática é desenvolvida para facilitar a aprendizagem significativa e modificar a estrutura cognitiva dos alunos em relação ao tema da espectroscopia. O objetivo principal é apresentar uma sequência didática para o estudo das ondas eletromagnéticas, culminando com uma experiência sobre espectroscopia. A sequência didática utiliza materiais de baixo custo, como um CD de 700MB para construir uma rede de difração.

A Sequência Didática é baseada principalmente na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel e aborda a Teoria da Carga Cognitiva. A metodologia de ensino utilizada envolve uma variedade de atividades, incluindo:

- 1) Aulas expositivas e dialogadas;
- 2) Experimentos;
- 3) Exibição de documentários;
- 4) Pesquisa e apresentação de trabalhos em grupo e;
- 5) Atividades práticas com construção de rede de difração.

A SD proposta não foi aplicada e não se detalha a metodologia de pesquisa para avaliar sua eficácia. O trabalho traz uma proposta de avaliação por meio de um questionário. Todavia, alicerçado na teoria da aprendizagem significativa, que afirma que a aprendizagem significativa é progressiva, e aprimorar o domínio de um campo conceitual dando ênfase em evidências e não em comportamentos finais, orienta um processo avaliativo somativo, através da observação do desenvolvimento dos alunos nas etapas da sequência.

A principal contribuição do trabalho é a proposta de uma SD para o ensino de espectroscopia no 8º ano do Ensino Fundamental, utilizando materiais de baixo custo e teoria da aprendizagem, conectando os conceitos de espectroscopia com o cotidiano dos alunos e com temas da astronomia, o que pode tornar o aprendizado mais interessante e significativo.

A principal limitação do trabalho é que a SD não é construída a partir de percepções obtidas em um ambiente de aprendizagem real o que limita o entrelaçamento entre a mesma e a teoria da aprendizagem significativa.

Silva (2020) desenvolveu uma sequência didática para o ensino da espectroscopia no ensino médio por meio da experimentação. Esta obra se torna importante pois nos fornece informações relevantes sobre:

- 1) A importância da inserção de conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, diante do avanço científico e tecnológico presente no cotidiano e;
- 2) O uso de atividades práticas, como experimentos, para tornar o ensino de física mais interativo e significativo, buscando aproximar a ciência do cotidiano dos alunos.

O trabalho investiga como se desenvolve alternativas para o ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, reconhecendo as dificuldades enfrentadas por professores e a necessidade de práticas pedagógicas que facilitem a compreensão dos conceitos e tornem as aulas mais atrativas.

O objetivo geral da investigação é produzir um aparato experimental simples e acessível para auxiliar na introdução de conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio e propor uma abordagem prática que permita o desenvolvimento e aplicação desses conceitos

de forma significativa, como objetivos específicos temos: estudar a natureza da luz e conceitos de espectroscopia atômica; compreender o funcionamento de um espectroscópio; descrever padrões espectrais; observar e diferenciar espectros contínuos e discretos, de emissão e absorção; utilizar experimentos para observar a emissão e absorção espectroscópica; discutir informações contidas nos espectros e; criar/validar uma Sequência Didática para o ensino de espectroscopia no Ensino Médio por meio da experimentação.

A metodologia de ensino é fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, utilizando os trabalhos de Moreira como referencial teórico. A Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) proposta busca a evolução e diferenciação progressiva dos conceitos, utilizando experimentos e simulações como ferramentas para facilitar a aprendizagem significativa.

A pesquisa envolveu o desenvolvimento e aplicação de uma Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) em duas turmas do 3º ano do Ensino Médio: uma turma de teste (TT) e uma turma de controle (TC). A coleta de dados foi realizada por meio de questionários e testes aplicados aos alunos antes e depois da intervenção pedagógica. A análise dos dados envolveu a comparação do desempenho dos alunos das duas turmas, tanto qualitativamente (análise das respostas discursivas) quanto quantitativamente (análise dos acertos e erros nas questões objetivas).

Os resultados da pesquisa indicaram que a Turma de Teste (TT), que utilizou o produto educacional, apresentou uma melhora significativa no desempenho em comparação com a Turma de Controle (TC), que seguiu o ensino tradicional. Os alunos da TT demonstraram maior motivação e interesse após a aplicação do produto, e as respostas das questões discursivas apresentaram melhor elaboração e clareza.

A utilização do produto educacional, que consiste em um aparato experimental de baixo custo para o estudo de espectroscopia, demonstrou ser um facilitador da aprendizagem, proporcionando um ambiente de aula mais dinâmico e maior interação entre os alunos.

A principal contribuição consiste na construção e aplicação de um produto educacional para o ensino de espectroscopia no Ensino Médio, utilizando materiais de baixo custo e experimentos práticos. O produto busca tornar o ensino de Física Moderna e Contemporânea mais acessível e interessante para os alunos, utilizando experimentos com lâmpadas de vapor de mercúrio e resistência, e um espectroscópio de baixo custo.

A principal limitação do trabalho consiste na descrição equivocada da metodologia de pesquisa, ele define equivocadamente que a metodologia de pesquisa é mista, pois usar gráficos

e tabelas para comparar o desempenho das turmas. Entretanto, não há nenhuma inferência estatística, por tanto a pesquisa é apenas qualitativa.

A última obra analisada nessa revisão de literatura é o artigo de Ribeiro e colaboradores (2021), intitulado de Construção de um aparato experimental de baixo custo para análise espectral e inserção do modelo atômico de Bohr no ensino de física moderna. Este artigo é relevante para esta dissertação, uma vez que:

- 1) Apresenta a construção de um espectrômetro de baixo custo para análise espectral de lâmpadas a gás, utilizando materiais acessíveis e sucata.
- 2) Descreve o desenvolvimento de um equipamento e programa de análise espectral em Python tem potencial para ser utilizado no ensino de Física Moderna, especificamente no estudo do modelo atômico de Bohr.
- 3) Busca alternativas para tornar o ensino de Física Moderna mais acessível e experimental, o que pode contribuir para um aprendizado mais significativo.

Desta maneira, os principais objetivos da referida dissertação consistem em:

- 1) Construir um espectrômetro de baixo custo para medidas dos comprimentos de onda das linhas espectrais da radiação de lâmpadas de gás e propor sua utilização no ensino do modelo atômico de Bohr.
- 2) Desenvolver um aparato experimental de baixo custo e um programa para análise espectral que possam ser utilizados como ferramentas de ensino e aprendizagem em Física Moderna, especificamente no estudo do modelo atômico de Bohr.

O texto não explicita uma teoria de aprendizagem, mas propõe o uso do espectrômetro de baixo custo como ferramenta de ensino e aprendizagem para o estudo do modelo atômico de Bohr. A metodologia envolve a construção do aparato experimental, a obtenção de espectros de lâmpadas a gás e a análise desses espectros com um programa desenvolvido em Python.

A pesquisa envolveu a construção de um espectrômetro de baixo custo utilizando a plataforma 3D AutoCad e materiais de sucata. Para a leitura e interpretação das linhas espectrais, foi desenvolvido um programa em linguagem Python, utilizando as bibliotecas OpenCV e Matplotlib. O espectrômetro foi utilizado para capturar imagens do espectro eletromagnético de uma lâmpada fluorescente, e os resultados obtidos foram comparados com outros trabalhos.

O espectrômetro de baixo custo desenvolvido foi capaz de capturar imagens nítidas do espectro eletromagnético de uma lâmpada fluorescente. Os resultados obtidos com o programa em Python para leitura das linhas espectrais foram consistentes e próximos dos trabalhos utilizados para comparação. Foi possível associar os comprimentos de onda das linhas espectrais aos elementos químicos que compõem a lâmpada utilizada.

O trabalho conclui que o espectrômetro de baixo custo desenvolvido, juntamente com o programa em Python, pode ser utilizado como ferramenta didática para o ensino de Física Moderna, especificamente o modelo atômico de Bohr, e que os resultados obtidos são satisfatórios e precisos.

O trabalho apresenta como inovação a construção de um espectrômetro de baixo custo utilizando materiais de sucata e o desenvolvimento de um programa em Python para análise espectral. O equipamento e o programa podem ser utilizados de forma interdisciplinar, unindo Física e linguagem computacional. O trabalho propõe uma forma de tornar o ensino de Física Moderna mais acessível e experimental, utilizando ferramentas de baixo custo e linguagem de programação de código aberto.

Entre as principais limitação deste trabalho podemos destacar:

- 1) A não aplicação do mesmo a um ambiente real de aprendizagem;
- 2) Não existência de um método avaliativo para uma eventual aplicação da SD.

3 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A teoria da aprendizagem significativa, proposta por David Paul Ausubel, insere-se no campo do cognitivismo e tem como principal objetivo compreender os processos mentais envolvidos na aquisição e organização do conhecimento. Trata-se de uma teoria da assimilação que procura explicar como novas informações podem ser incorporadas de maneira duradoura às estruturas cognitivas já existentes na mente do aprendiz.

Ausubel (1968), que desenvolveu suas ideias em meados do século XX, é frequentemente comparado a Jean Piaget, com quem compartilha algumas concepções, especialmente no que diz respeito à importância da aprendizagem por descoberta. No entanto, enquanto Piaget concentrou seus estudos principalmente nos estágios do desenvolvimento cognitivo e não teve como foco central o ambiente escolar, Ausubel voltou sua atenção especificamente para a aprendizagem em sala de aula, propondo métodos e estratégias voltados para a prática docente.

Diferentemente da ênfase dada por Piaget ao aprendizado espontâneo e auto estruturado, Ausubel valoriza o papel da instrução sistemática, em particular a aula expositiva bem estruturada, desde que ela favoreça conexões significativas entre os conhecimentos prévios do aluno e os novos conteúdos apresentados. Nesse sentido, ele não descarta o valor da aprendizagem por descoberta, mas argumenta que o ensino expositivo, quando adequadamente planejado e conduzido, pode ser altamente eficaz e promover aprendizagens profundas.

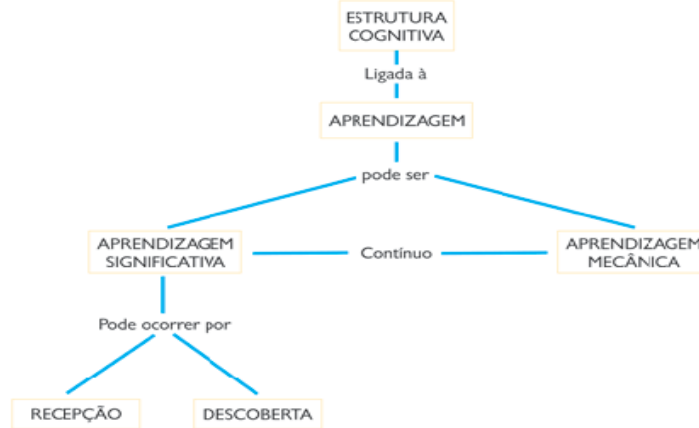
O grande legado de Ausubel reside na ênfase que dá à preparação do professor e à organização lógica e psicológica do conteúdo, destacando a importância da clareza, da progressão gradual do conhecimento e da consideração das ideias prévias dos alunos. Para ele, a aprendizagem torna-se verdadeiramente significativa quando o estudante é capaz de relacionar, de forma não arbitrária e substancial, o novo saber com aquilo que já conhece.

Nos tópicos seguintes, serão explorados em mais profundidade os elementos centrais da teoria de Ausubel. Primeiramente, será apresentado o modelo cognitivo de aprendizagem que embasa sua proposta teórica. Em seguida, discutiremos os fatores internos e externos que influenciam o processo de aprendizagem significativa, com destaque para conceitos-chave como subsunçores, diferenciação progressiva, reconciliação integradora e o uso de organizadores prévios.

3.1 OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DE AUSUBEL

Conforme a teoria de Ausubel, os conceitos fundamentais relacionados à aprendizagem se organizam esquematicamente da seguinte maneira (FARIA, 1989, p 7):

Figura 1 - Mapa conceitual da aprendizagem.



Fonte: Faria (1989).

Ao analisar individualmente cada um desses conceitos, podemos observar uma relação entre a estrutura cognitiva e a aprendizagem.

3.2 A ESTRUTURA COGNITIVA

Segundo David Ausubel (conforme citado por Faria, 1989, p. 8), a estrutura cognitiva pode ser compreendida como o conjunto total e organizado de ideias que um indivíduo possui em um determinado momento. No contexto do aprendizado, essa estrutura se refere especificamente ao modo como as informações e os conhecimentos estão organizados e inter-relacionados em sua mente, especialmente dentro de uma área específica do saber.

Em outras palavras, a estrutura cognitiva representa o modo como o indivíduo armazena, organiza e interliga conceitos, proposições e ideias de forma hierárquica e progressiva. Cada novo conteúdo assimilado pelo aluno é integrado a essa estrutura, de maneira que a aprendizagem não ocorre de forma isolada, mas como parte de um sistema já existente de significados.

Para Ausubel, essa estrutura é altamente organizada: as ideias mais gerais e inclusivas ocupam posições superiores na hierarquia e servem de base para a inserção de informações mais específicas. Novas ideias, ao serem aprendidas, são incorporadas a esse sistema por meio de vínculos significativos com conhecimentos já estabelecidos, processo que é central para a aprendizagem significativa. Assim, o aprendizado se dá por diferenciação progressiva e

reconciliação integradora — mecanismos que permitem a ampliação, o refinamento e a reestruturação constante do conhecimento.

É importante destacar a distinção conceitual entre o significado atribuído por Ausubel à estrutura cognitiva e aquele empregado por outras abordagens teóricas, como a teoria da atividade. Enquanto Ausubel concentra-se nos processos de aquisição e organização interna de ideias, com ênfase na aprendizagem em ambientes escolares, a teoria da atividade foca nos processos mentais superiores relacionados às ações e interações do indivíduo com o mundo externo, priorizando aspectos socioculturais da aprendizagem.

Portanto, na perspectiva ausubeliana, compreender a estrutura cognitiva do aluno é essencial para planejar estratégias de ensino que favoreçam a aprendizagem significativa. É nela que novos conhecimentos devem ser ancorados para que façam sentido e sejam retidos de forma estável, permitindo sua aplicação em diferentes contextos e promovendo uma compreensão profunda dos conteúdos estudados.

3.3 A APRENDIZAGEM

De acordo com David Ausubel, a aprendizagem pode ser compreendida como um processo de expansão da estrutura cognitiva do indivíduo, por meio da incorporação de novos conteúdos que se relacionam com conhecimentos previamente adquiridos. Em outras palavras, aprender significa modificar, reorganizar ou ampliar a rede de significados já presente na mente do aprendiz, estabelecendo novas conexões entre ideias.

Esse processo de incorporação de novas informações à estrutura cognitiva pode ocorrer de diferentes maneiras, dependendo do tipo de vínculo que se estabelece entre os conhecimentos já internalizados e os novos conteúdos apresentados. Para Ausubel, é essa relação que determina se a aprendizagem será mecânica ou significativa.

3.3.1 Aprendizagem significativa

A aprendizagem é considerada significativa quando a nova informação é compreendida de maneira substancial, sendo conectada de forma lógica e não arbitrária a elementos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Essa conexão ocorre por meio da ancoragem do novo conteúdo em conceitos prévios — chamados por Ausubel de subsunçores — que possuem certo grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Tais subsunçores funcionam como pontos de apoio que possibilitam ao aprendiz atribuir sentido ao que está sendo aprendido.

Segundo Ausubel (1963, p. 58), a aprendizagem significativa é o mecanismo mais eficaz e natural pelo qual o ser humano adquire e retém o vasto conjunto de ideias e informações que compõem qualquer campo do conhecimento. Como exemplo, compreender verdadeiramente o conceito de “fóton” requer a associação com noções já conhecidas de “luz” e “ondas eletromagnéticas”. Se essa relação estiver clara para o aluno, o novo conceito será assimilado com profundidade e sentido.

Nesse processo, os subsunçores costumam ser ativados a partir do primeiro contato do estudante com o conteúdo, muitas vezes por meio das explicações verbais do professor. Estratégias didáticas que utilizam recursos lúdicos, como experimentos de difração da luz, contribuem significativamente para esse processo, pois possibilitam ao aluno uma aprendizagem mais envolvente, prazerosa e contextualizada — isto é, não arbitrária nem literal.

De acordo com Moreira (1999, p. 62):

“Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo através do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ou seja, este processo envolve a interação da nova formação com uma estrutura de conhecimento específica, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora em conceitos ou proposições relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz (MOREIRA, 1999, p. 62).”

3.3.2 Aprendizagem Mecânica

Em contrapartida, a aprendizagem mecânica representa o oposto da aprendizagem significativa. Nesse tipo de aprendizagem, as novas informações são memorizadas sem qualquer conexão relevante com os conhecimentos já existentes na mente do aprendiz. Não há interação com subsunçores específicos, e os conteúdos são armazenados de maneira literal e arbitrária.

De acordo com Moreira (2009, p. 9-10), esse tipo de aprendizagem se caracteriza pela superficialidade: o aluno repete informações tal como foram apresentadas, sem compreender seu significado profundo. Como consequência, esse conhecimento é pouco durável, difícil de aplicar em novos contextos e não pode ser reformulado com palavras próprias. A informação não é assimilada de forma substancial e, portanto, não é significativa.

Por exemplo, se um aluno aprende apenas que “o cachorro é um mamífero” sem compreender o que caracteriza um mamífero — como o fato de que mamam — ele não será capaz de generalizar essa informação para outros seres vivos, como o ser humano. Isso evidencia uma falta de flexibilidade cognitiva, que é uma das principais limitações da aprendizagem mecânica.

3.3.3 Aprendizagem por descoberta e por recepção

Segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, o processo de aprendizagem pode se realizar por meio de duas modalidades distintas: aprendizagem por descoberta e aprendizagem por recepção. A escolha entre essas modalidades não determina, por si só, a qualidade da aprendizagem, pois ambas podem ser significativas ou mecânicas, dependendo da forma como o conteúdo é assimilado cognitivamente pelo aluno.

3.3.3.1 Aprendizagem por descoberta

Na aprendizagem por descoberta, o aprendiz é protagonista do processo. Ele deve descobrir, por conta própria, os princípios, conceitos, relações ou leis a partir da manipulação de dados, da observação de fenômenos, ou da resolução de problemas. Nesse contexto, o conhecimento não é apresentado de forma explícita, cabendo ao estudante sua formulação e sistematização. Essa abordagem é valorizada especialmente em metodologias investigativas, nas quais se busca estimular o raciocínio autônomo, o pensamento crítico e a construção ativa do saber.

3.3.3.2 Aprendizagem por Recepção

Já na aprendizagem por recepção, o conteúdo é transmitido de maneira organizada e estruturada, como ocorre em exposições orais, aulas dialogadas, ou textos instrucionais. O aprendiz recebe a informação de forma explícita, mas precisa interagir cognitivamente com esse conteúdo, relacionando-o com conceitos previamente estabelecidos em sua estrutura mental. Portanto, embora a informação seja "pronta", ela não é absorvida passivamente: sua assimilação depende da reorganização ativa dos conhecimentos já adquiridos e da disposição para integrar novos significados de modo coerente.

Ausubel argumenta que tanto a aprendizagem por descoberta quanto a por recepção podem conduzir a resultados significativos ou mecânicos, dependendo de como a nova informação se relaciona com o conhecimento prévio. Quando essa relação é clara, lógica e não arbitrária, ocorre a aprendizagem significativa. Caso contrário, mesmo a descoberta, que teoricamente estimula maior envolvimento, pode resultar em simples memorização ou formulações conceitualmente frágeis.

Nesse sentido, a presente pesquisa adotará ambas as modalidades propostas por Ausubel, integrando atividades de recepção e de descoberta. Os alunos participarão de uma atividade experimental envolvendo a difração da luz, a qual será explorada como recurso lúdico

e investigativo. Ao observar o fenômeno e analisá-lo com base nos conhecimentos adquiridos em sala de aula sobre o modelo atômico, os estudantes poderão construir relações significativas entre teoria e prática, transformando a experiência em aprendizado real.

3.3.4 Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa

Na busca por promover aprendizagens cada vez mais significativas, Ausubel propõe dois princípios programáticos fundamentais para a organização dos conteúdos a serem ensinados: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Esses princípios orientam a estruturação lógica e pedagógica do material didático, favorecendo a assimilação de novos conceitos e o fortalecimento dos subsunçores existentes.

3.3.4.1 Diferenciação Progressiva

A diferenciação progressiva consiste em apresentar inicialmente os conceitos mais amplos, gerais e inclusivos, para então desdobrá-los gradualmente em ideias mais específicas, detalhadas e subordinadas. Como destaca Moreira (2009, p. 65), trata-se do “princípio segundo o qual as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria de ensino devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade”.

Essa estratégia baseia-se no pressuposto de que é cognitivamente mais acessível compreender as partes diferenciadas de um todo que já foi apreendido, do que tentar reconstruir o todo a partir de fragmentos isolados. Em termos cognitivos, a estrutura mental de um indivíduo se organiza de maneira hierárquica: os conceitos mais gerais ocupam níveis superiores e sustentam os conceitos mais específicos, que se subordinam a eles.

3.3.4.2 Reconciliação Integrativa

Por sua vez, a reconciliação integrativa refere-se à necessidade de estabelecer conexões entre conceitos diversos, promovendo uma integração significativa de ideias. Isso inclui apontar semelhanças, diferenças e relações entre os conteúdos, bem como resolver contradições aparentes ou reais. Ausubel enfatiza que o ensino deve ajudar o aluno a perceber as interconexões conceituais, permitindo-lhe elaborar um conhecimento mais coerente e sistematizado.

De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a reconciliação integrativa ocorre quando os conceitos específicos assimilados anteriormente passam a ser reinterpretados ou rearticulados à luz de novos conhecimentos, o que gera uma ampliação e refinamento do

entendimento. Trata-se, portanto, de um movimento dinâmico, em que o aprendiz vai reorganizando e refinando sua estrutura cognitiva, tornando-a mais coerente e complexa.

Ambos os princípios — diferenciação progressiva e reconciliação integrativa — operam de forma simultânea e complementar durante a aprendizagem significativa. Enquanto o primeiro orienta a sequência lógica de apresentação dos conteúdos, o segundo promove a coerência interna e a integração do conhecimento. Juntos, esses princípios contribuem para a construção de uma estrutura cognitiva mais articulada, estável e adaptável, favorecendo o desenvolvimento intelectual e a apropriação crítica do saber.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A espectroscopia, ramo da Física que investiga a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria, desempenha um papel fundamental na determinação da composição química das substâncias, bem como na realização de diversas análises sobre o universo. Por meio dessa técnica, é possível obter informações abrangentes acerca da luminosidade, temperatura, massa, raio e velocidade das estrelas, além de se determinar características físicas de planetas, galáxias e outros corpos celestes.

Historicamente, diversas civilizações antigas observaram fenômenos naturais relacionados à dispersão e difração da luz. No entanto, foi apenas no século XVII que Isaac Newton (1643–1727) conduziu experimentos sistemáticos com a decomposição da luz solar utilizando um prisma de vidro, resultando na formação de um espectro contínuo de cores, ao qual deu o nome de spectrum. Esse trabalho pioneiro marcou o início da exploração científica do espectro eletromagnético, cuja extensão vai muito além da faixa visível identificada por Newton, abrangendo também o infravermelho, ultravioleta, micro-ondas, ondas de rádio, raios X e raios gama.

Compreender os fundamentos do Eletromagnetismo é, portanto, essencial para a compreensão da natureza da luz e de sua interação com a matéria. A partir desse conhecimento, torna-se possível utilizar o experimento de espectroscopia óptica — baseado na refração e análise da luz emitida ou absorvida por diferentes materiais — para investigar sua composição química, identificando os elementos presentes por meio das linhas espectrais características.

4.1 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: EQUAÇÕES DE MAXWELL

Segundo Siqueira (2021, p. 2):

“No passado, a eletricidade e o magnetismo eram áreas distintas da física, estudadas separadamente desde seus primórdios. Faraday foi o primeiro a perceber uma conexão entre esses dois campos ao observar a presença de um campo magnético em torno de um fio conduzindo corrente elétrica. Posteriormente, James Clark Maxwell (1831-1879) consolidou as descobertas de Ampère, Faraday, Lenz e Gauss, que descreviam fenômenos elétricos e magnéticos. Ele introduziu a ideia crucial de que a variação de um campo elétrico poderia gerar um campo magnético induzido”

Em sua publicação, em relação ao Eletromagnetismo, Siqueira (2021, p. 2) afirma que:

“Ao fazer isso, Maxwell sintetizou as leis do magnetismo em quatro equações que descrevem as relações entre campo elétrico e magnético e suas fontes, formando a base do eletromagnetismo clássico. A lei de Gauss da eletricidade e a lei da Faraday-Lenz são duas equações de Maxwell que dizem respeito às duas formas de geração de campo elétrico e a lei de Gauss do magnetismo e a lei de Ampère-Maxwell relacionam a geração de campo magnético.”

4.2 LEI DE GAUSS DA ELETRICIDADE

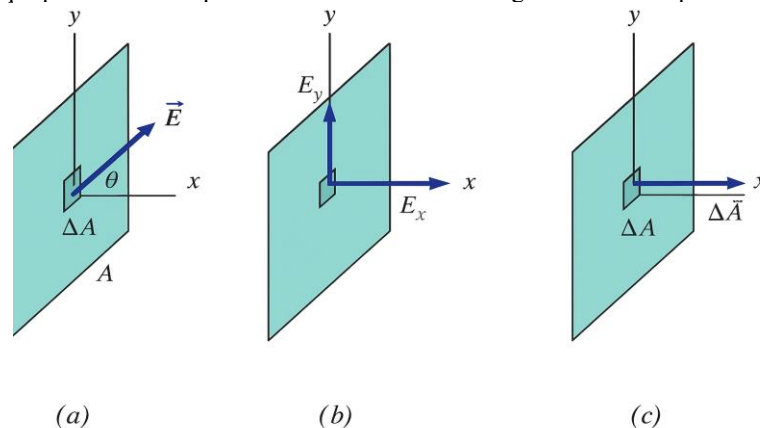
O fluxo de campo elétrico, representado por Φ_E , é uma medida do número de linhas de campo elétrico, simbolizadas por \vec{E} , que atravessam a superfície gaussiana. Conforme convenção, se mais linhas de campo elétrico saem da superfície fechada do que entram, o fluxo é positivo; se mais linhas entram do que saem, o fluxo é negativo. Quando o número de linhas que entram é igual ao número que sai, o fluxo através da superfície fechada é nulo.

Uma maneira de calcular o fluxo do campo elétrico \vec{E} através de uma superfície gaussiana fechada é dividir a superfície em elementos de área infinitesimal $d\vec{A}$, de modo que o módulo e a direção de $d\vec{A}$ sejam tão pequenos que E possa ser considerado constante para todos os pontos dentro de um mesmo elemento de área. Então, quantidade de campo elétrico que atravessa a superfície é chamada de fluxo elétrico Φ_E e é dada pelo produto do campo que atravessa a superfície pela área envolvida:

$$\Delta\Phi = (E \cos \theta)\Delta A \quad (1)$$

Definimos um vetor área $\Delta\vec{A}$ que é perpendicular a superfície do quadrado e tem um módulo igual à área do quadrado, figura 3 (c).

Figura 2 - (a) Um vetor de campo elétrico atravessa um pequeno quadrado de uma superfície plana. (b) Apenas a componente x atravessa o quadrado; a componente y é paralela ao quadrado. (c) O vetor área do quadrado é perpendicular ao quadrado e tem um módulo igual à área do quadrado.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/7F9YK33R1Zfscxbm9> . Acesso em 13/06/2025.

Nesse caso, podemos escrever:

$$\Delta\Phi = \vec{E} \cdot \Delta\vec{A}. \quad (2)$$

Para determinar o fluxo total Φ que atravessa a superfície da Fig.2, somamos o fluxo que atravessa todos os pequenos quadrados da superfície. Entretanto, como não queremos ter o trabalho de somar centenas (ou mais) de valores do fluxo, transformamos a soma em uma

integral reduzindo os pequenos quadrados de área $\Delta\vec{A}$ em elementos de área $d\vec{A}$. Nesse caso, o fluxo total passa a ser dado por:

$$\Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}. \quad (3)$$

Então iremos fazer uma demonstração utilizando a equação na Gauss na forma integral (eq. 3). Para isso, precisamos definir uma superfície gaussiana que chamaremos de A que está envolvendo uma carga q no seu interior. A superfície A pode ter qualquer forma, no entanto, para simplificar os cálculos, vamos assumir que a superfície A seja uma esfera de raio r centrada na carga q . O raio r é escolhido de forma que a carga q esteja completamente contida dentro de A . Por definição, o campo elétrico E gerado pela carga elétrica q é dado por:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r},$$

onde o símbolo ϵ_0 é chamado de constante de permissividade elétrica no vácuo que descreve como um campo elétrico afeta e é afetado por um meio. Tal símbolo tem valor relacionado com a velocidade da luz e a permeabilidade magnética μ_0 no vácuo e

$$\epsilon_0 = \frac{1}{c^2 \mu_0} = 8,8541878176 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}.$$

Aplicando a Eq. (3) e como os vetores \vec{E} e $d\vec{A}$ são radiais, o produto escalar se reduz ao produto dos módulos. Dado que \vec{E} é constante na superfície da esfera, podemos retirá-lo da integral e, assim, obtemos:

$$\Phi_E = \oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \vec{E} \cdot \oint_A d\vec{A} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}. \quad (4)$$

Portanto, podemos observar que o fluxo através da superfície gaussiana fechada \bar{S} é um valor independente do raio da esfera. Assim, o fluxo que atravessa uma superfície \bar{S} é igual a:

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}. \quad (5)$$

Portanto, ao igualarmos as expressões dadas pelas Eqs (3) e (5), obtemos a formulação integral da Lei de Gauss da Eletricidade. Essa lei pode ser expressa da seguinte forma matemática:

$$\oint_A \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0},$$

onde o lado esquerdo representa o fluxo total do campo elétrico \vec{E} através de uma superfície fechada, e o lado direito corresponde à carga elétrica total q contida no interior dessa superfície, dividida pela permissividade do vácuo.

Essa igualdade estabelece uma relação direta e fundamental entre o campo elétrico e a carga elétrica, e constitui uma das equações centrais do eletromagnetismo clássico.

É um valor que não depende da forma da superfície A , contanto que haja uma carga q em seu interior. Se uma carga q está localizada fora da superfície fechada, suas linhas de campo elétrico entram e saem da superfície simultaneamente, resultando em um fluxo de campo elétrico nulo.

4.3 LEI DE GAUSS PARA O MAGNETISMO

No estudo da física, o magnetismo engloba os fenômenos associados à interação entre campos magnéticos, os quais representam as regiões do espaço influenciadas por correntes elétricas. No caso a Lei de Gauss para o Magnetismo é a segunda lei de Maxwell que afirma que os monopólios magnéticos não existem. De acordo com a lei, o fluxo magnético Φ_B através de uma superfície gaussiana é zero:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0 \quad (6)$$

Essa igualdade indica que o número de linhas de campo magnético que entram em uma superfície fechada é exatamente igual ao número de linhas que saem dela, reforçando a ideia de que as linhas de campo magnético formam sempre laços fechados, sem pontos de origem ou fim isolados, diferentemente das linhas do campo elétrico.

A ausência de monopólios magnéticos tem implicações profundas na teoria do eletromagnetismo e na compreensão dos fenômenos magnéticos observados na natureza.

4.4 LEI DE FARADAY - LENZ

Uma das contribuições mais notáveis de Michael Faraday, um dos maiores experimentadores da história da física, foi a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética, publicada em 1831. Faraday demonstrou que é possível induzir uma corrente

elétrica em um circuito fechado (como uma espira condutora) simplesmente por meio da variação do campo magnético que atravessa esse circuito.

Em seus experimentos, Faraday observou que quando o número de linhas de campo magnético que atravessam uma espira muda com o tempo — seja por movimentação do ímã, da espira, ou por variação da intensidade do campo — uma corrente elétrica momentânea é gerada na espira. Esse processo ficou conhecido como indução magnética.

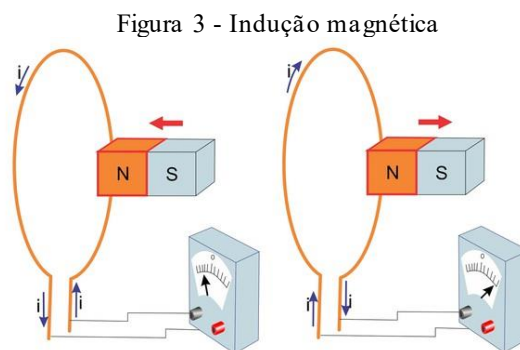
A quantidade de campo magnético que atravessa uma superfície (como a área delimitada por uma espira) é chamada de fluxo magnético, simbolizado por ΦB . O fluxo é proporcional ao número de linhas de campo magnético que cruzam essa área. Assim, uma mudança no fluxo magnético implica uma variação na densidade ou orientação das linhas de campo que atravessam a espira — o que induz uma corrente elétrica.

Um dos aspectos mais surpreendentes dessa descoberta para os cientistas da época foi justamente o fato de que um campo magnético variável pode gerar um campo elétrico — mesmo na ausência de cargas elétricas ou tensões aplicadas. Essa interdependência entre campos magnéticos e elétricos é a base do eletromagnetismo e constitui um dos pilares das Equações de Maxwell.

Esse fenômeno é formalizado pela Lei de Faraday da Indução Eletromagnética, que pode ser enunciada da seguinte maneira:

"Uma força eletromotriz é induzida em um circuito fechado sempre que o fluxo do campo magnético que atravessa esse circuito variar com o tempo."

Em termos matemáticos, a força eletromotriz induzida (ε) é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético ao longo do tempo:



Fonte: <https://images.app.goo.gl/mNaUCsGAgfNbagm7> . Acesso em: 10 jun. 2025.

No caso da figura 3, o fluxo magnético através da área da espira é:

$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (7)$$

Agora suponha (fig. 3) que a espira seja plana e que o campo magnético seja perpendicular ao plano da espira. Nesse caso, podemos escrever o produto escalar da Eq. 7 como $B \cdot dA \cos 0^\circ = B \cdot A$. Se, além disso, o campo magnético for uniforme podemos colocar B de fora da integral. Nesse caso, a integral se reduz a $\int dA$, que é simplesmente a área da integral.

Usando a definição de fluxo magnético, podemos enunciar a lei de Faraday de um modo mais rigoroso:

— O módulo da força eletromotriz induzida em uma espira condutora é igual à taxa de variação, com o tempo, do fluxo magnético Φ_B que atravessa a espira.

A força eletromotriz induzida (ε) se opõe à variação do fluxo, de modo que, matematicamente, a lei de Faraday pode ser escrita na forma

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (8)$$

A Lei de Lenz, incorporada à equação por meio do sinal negativo, afirma que a corrente induzida sempre se opõe à variação do fluxo magnético que a gerou. Isso está em perfeita concordância com o princípio da conservação da energia: o sistema “resiste” à mudança do campo magnético, exigindo trabalho externo para manter a variação.

A corrente gerada nesse processo é chamada de corrente induzida, e a força eletromotriz responsável por seu surgimento é denominada força eletromotriz induzida. O processo físico de gerar corrente elétrica por meio da variação do campo magnético é conhecido como indução eletromagnética.

Esse princípio está na base do funcionamento de diversos dispositivos elétricos e eletrônicos, como: geradores elétricos (que convertem energia mecânica em elétrica), transformadores (que alteram os níveis de tensão em circuitos de corrente alternada), e bobinas de ignição, entre muitos outros. Nesse sentido, se o fluxo magnético através de uma bobina de N espiras sofre uma variação, uma força eletromotriz é induzida em cada espira e a força eletromotriz total é a soma dessas forças eletromotrizes, ficamos com

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}. \quad (9)$$

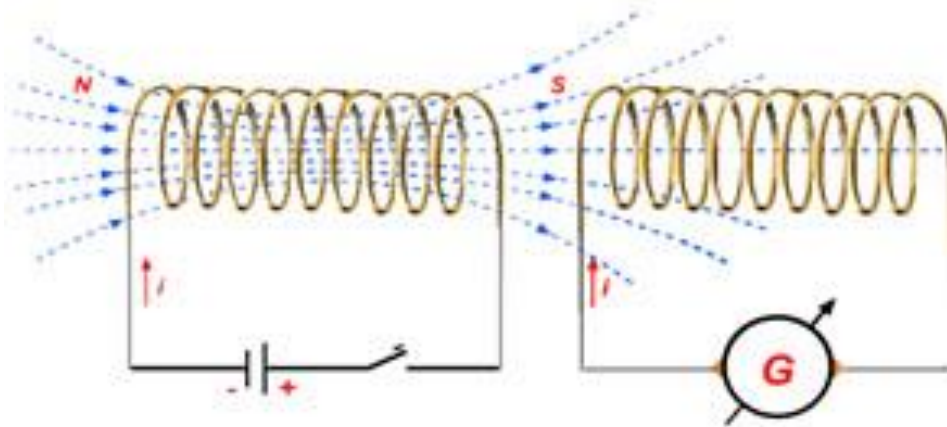
Pouco depois de Faraday descobrir a lei de indução, Heinrich Friedrich Lenz propôs uma regra, hoje conhecida como lei de Lenz, para determinar o sentido da corrente induzida em uma espira:

“A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2014, p. 715).

A força eletromotriz induzida tem um sentido compatível com o sentido da corrente induzida. A ideia central da lei de Lenz é a de “oposição”.

Então para conseguirmos a Lei de Faraday – Lenz na forma integral iremos considerar uma espira sem corrente elétrica, inserida em uma região com presença de um campo magnético. Enquanto a intensidade desse campo magnético permanece inalterada, não há corrente induzida, resultando na ausência de um campo elétrico na espira para movimentar as cargas e gerar uma corrente. No entanto, se a intensidade do campo magnético aumenta, o fluxo também aumenta. Conforme a lei de Lenz, uma corrente induzida é gerada na espira para compensar o aumento do fluxo magnético. Essa corrente induzida segue um sentido horário, como exemplificado na Figura 5.

Figura 4 - Sentido da corrente induzida



Fonte: <https://images.app.goo.gl/yB4xNZG9GhbynqyT6> . Acesso em: 10 jun. 2025.

A presença de uma corrente induzida indica a existência de um campo elétrico induzido na espira, o qual estimula o deslocamento dos elétrons livres ou elétrons condutores. A conclusão de que a corrente elétrica induzida não é originada por uma força magnética gerada, por um campo magnético é viável devido ao fato de que esse tipo de força não influencia cargas em repouso, como pode ser observado.

Nesse contexto, segundo Griffiths (2013), a força magnética que atua sobre uma partícula carregada eletricamente e em movimento dentro de um campo magnético é fundamental para compreender fenômenos físicos e aplicações. O módulo dessa força, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, é descrita pela expressão:

$$F_m = qvB\text{sen}\theta, \quad (10)$$

onde q é a carga da partícula, v é a sua velocidade e θ é o ângulo entre a velocidade e o campo magnético.

Quando a velocidade $v = 0$, a força magnética é nula. Portanto, a origem da corrente elétrica induzida deve estar associada a um campo elétrico induzido, que surge a partir de um campo magnético variável no tempo. Com base nessa ideia, podemos formular de maneira mais ampla a lei de Faraday-Lenz: um campo magnético que varia ao longo do tempo gera um campo elétrico induzido.

Imagine uma partícula com carga Q_0 movendo-se ao longo de uma circunferência imaginária ou espira. O trabalho W realizado sobre essa partícula pelo campo elétrico induzido durante uma revolução completa é

$$W = \varepsilon \cdot Q_0, \quad (11)$$

onde ε representa a força eletromotriz induzida (trabalho realizado por unidade de carga que percorre a trajetória). No entanto, de acordo com a definição, o trabalho também pode ser expresso como

$$W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{A} = (Q_0 \cdot E) (2\pi r), \quad (12)$$

Tomando a igualdade entre as equações 11 e 12 temos que a força eletromotriz (ε) é

$$\varepsilon = 2\pi r \cdot E. \quad (13)$$

Agora, vamos reformular a equação do trabalho de uma maneira diferente para obter uma expressão mais abrangente do trabalho realizado sobre uma partícula de carga Q_0 que se desloca ao longo de uma trajetória fechada. Por definição, temos que:

$$W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{A} = Q_0 \cdot \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}. \quad (14)$$

Tomando a igualdade entre as equações (11) e (14) obteremos

$$\Phi_B = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}. \quad (15)$$

A força eletromotriz induzida é a soma, por integração, de um produto escalar $\vec{E} \cdot d\vec{A}$ ao longo de uma curva fechada, onde \vec{E} representa o campo elétrico induzido pela variação do fluxo magnético e $d\vec{A}$ é o elemento de comprimento ao longo da curva. Ao combinar as equações (8) e (15), obtemos que

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = - \frac{d}{dt} \oint \vec{B} \cdot d\vec{A}. \quad (16)$$

Esse resultado é de importância central para a teoria do eletromagnetismo. Contudo, surge uma pergunta natural motivada por um princípio essencial da física: a simetria. Se um campo magnético variável pode gerar um campo elétrico, seria possível que um campo elétrico variável gerasse um campo magnético?

A resposta é sim — e esse insight levou James Clerk Maxwell a um avanço teórico crucial. Ele percebeu que a Lei de Ampère, que relaciona correntes elétricas ao campo magnético ao seu redor, apresentava uma inconsistência quando aplicada a situações em que o campo elétrico varia com o tempo, mas não há corrente elétrica convencional atravessando uma superfície.

4.5 LEI DE AMPÈRE ANTES DE MAXWEL

A primeira formulação dessa relação foi feita com base na descoberta experimental de Hans Christian Ørsted, que observou que um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor. A descrição matemática foi elaborada por André-Marie Ampère (1775–1836) e afirma que a circulação do campo magnético ao longo de um caminho fechado é proporcional à corrente total que atravessa a superfície limitada por esse caminho.

A forma integral da Lei de Ampère é:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{env}, \quad (17)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética no vácuo e i_{env} é a corrente elétrica que envolve uma curva fechada conhecida como curva amperiana.

A seguir, apresentaremos a dedução da igualdade (17) considerando o caso específico em que a curva fechada é um fio com formato circular, tendo o raio r . Matematicamente, o vetor campo magnético \vec{B} é determinado pela seguinte equação:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} \hat{r}. \quad (18)$$

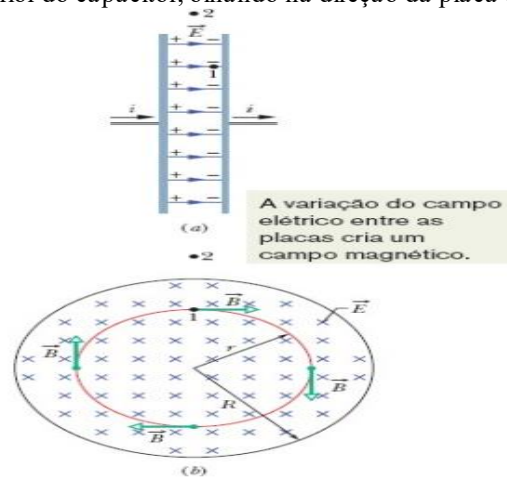
Logo, substituindo

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \oint dl = B \cdot 2\pi r = \frac{\mu_0 i}{4\pi r} = \mu_0 i_{env}.$$

A lei de Ampère é uma das leis essenciais do eletromagnetismo. Essa lei estabelece que a integral ao longo de um caminho fechado do campo magnético \vec{B} gerado por uma corrente é proporcional à corrente líquida que atravessa a superfície delimitada pelo caminho de integração.

A contribuição de Maxwell vem da consideração de um exemplo do capacitor circular. Suponha que a carga do capacitor esteja aumentando a uma taxa constante devido à presença de uma corrente i nos fios de conexão, conforme ilustrado na **Figura 6**.

Figura 5 - (a) Um capacitor de placas paralelas circulares, visto de lado, está sendo carregado por uma corrente constante i . (b) Uma vista do interior do capacitor, olhando na direção da placa que está à direita em (a).



Fonte: <https://images.app.goo.gl/GSdY9pbaPaGwvJKY7> . Acesso em: 10 jun. 2025.

A **Fig. 5b** mostra a placa da direita da **Fig. 5a** do ponto de vista da região entre as placas. O campo elétrico aponta para dentro do papel. Considere uma circunferência passando pelo ponto 2 das **Figs. 5a e 5b**, concêntrica com as placas do capacitor e com um raio menor que o raio das placas. Como o campo elétrico que atravessa a circunferência está variando, o fluxo elétrico também varia. O campo elétrico é uniforme, aponta para dentro do papel (em direção à placa) e aumenta de intensidade quando a carga do capacitor aumenta. O campo magnético induzido por esse campo elétrico variável é mostrado em quatro pontos de uma circunferência de raio r menor que o raio R das placas.

4.6 A INCONSISTÊNCIA DA LEI DE AMPÈRE E A CORREÇÃO DE MAXWELL

Maxwell observou que essa formulação falhava em casos como o de um capacitor em carregamento: há corrente elétrica nos fios que levam cargas às placas, mas nenhuma corrente "passa" pelo espaço entre as placas, ainda que o campo elétrico ali varie com o tempo. No entanto, o campo magnético na região entre os fios e as placas ainda está presente. Isso exigia uma nova interpretação.

Maxwell propôs então que, além da corrente elétrica convencional, um campo elétrico variável no tempo também pode gerar um campo magnético. Ele introduziu o conceito de corrente de deslocamento, associada à variação do campo elétrico no tempo. A forma corrigida da Lei de Ampère, que passou a incluir esse novo termo, ficou assim:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{env} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\Phi_E}{dt}, \quad (19)$$

onde \vec{B} representa o campo magnético induzido ao longo de uma curva fechada devido à variação do fluxo elétrico na região circundada pela curva. Apesar da semelhança entre a equação da lei de indução de Maxwell e a equação da lei de Faraday-Lenz da indução, existem duas diferenças entre elas. Primeiramente, a equação de Maxwell inclui dois fatores adicionais, a permissividade magnética no vácuo e a permeabilidade elétrica, os quais são introduzidos devido à adoção das unidades do SI. Em segundo lugar, o sinal de negativo da equação é da lei de indução de Faraday-Lenz não está presente na equação da lei de Maxwell, o que significa que o campo elétrico induzido e o campo magnético induzido têm sinais opostos quando são produzidos em situações análogas.

A correção feita por Maxwell teve consequências extraordinárias. Ao combinar a versão corrigida da Lei de Ampère com a Lei de Faraday-Lenz, ele demonstrou que campos elétricos variáveis geram campos magnéticos, e campos magnéticos variáveis geram campos elétricos — o que abre caminho para a existência de ondas eletromagnéticas, capazes de se propagar no vácuo. Com isso, Maxwell previu que a luz é uma onda eletromagnética, unificando os campos da eletricidade, magnetismo e óptica.

Assim, a partir da lei de Gauss da eletricidade, observamos que a carga elétrica q contida dentro de uma superfície gaussiana é proporcional ao fluxo do campo elétrico que atravessa essa superfície multiplicado por uma constante ϵ_0 conhecida como permissividade elétrica no vácuo. Em outras palavras, de acordo com a Eq. (4) temos

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow q = \Phi_E \epsilon_0.$$

Diferenciando a Eq. (4) em relação ao tempo obtemos a corrente de deslocamento:

$$\epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} = \frac{dq}{dt} = i_d. \quad (20)$$

Essa corrente i_d , como definida em (20), é chamada por Maxwell de corrente de deslocamento. Esse "deslocamento" é inadequado, pois não há movimento físico envolvido, mas a expressão foi mantida por motivos históricos. Com base em sua observação, a variação temporal do fluxo elétrico desempenha o papel de uma corrente fictícia entre as placas do capacitor. Maxwell propôs que essa corrente de deslocamento i_d seja adicionada à corrente de condução na lei de Ampère.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i_{env} + i_d). \quad (21)$$

Substituindo a Eq. (21) na Eq. (20) podemos encontrar a lei de Ampère – Maxwell que é dado pela seguinte equação:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{env} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\Phi_E}{dt}. \quad (22)$$

Note que essa adição estabelece uma simetria com a Lei de Faraday: assim como a variação do fluxo magnético induz um campo elétrico, agora observamos que a variação do fluxo elétrico induz um campo magnético. Quando há uma corrente elétrica e o fluxo elétrico não está variando (como no caso de um fio percorrido por uma corrente constante), quando o primeiro termo do lado direito da equação da lei de Ampère-Maxwell é nulo, a equação se simplifica para a lei de Ampère. Por outro lado, quando o fluxo elétrico está variando e a corrente é nula (como na região entre as placas de um capacitor sendo carregado), o segundo termo do lado direito da equação da lei de Ampère-Maxwell é zero, resultando na equação da lei de Maxwell da indução. Agora, vamos analisar a relação entre essas duas correntes.

Em todo momento, a carga q nas placas está associada ao campo elétrico entre elas, conforme expresso pela equação:

$$q = \epsilon_0 A E, \quad (23)$$

onde A representa a área das placas. Para calcular a corrente elétrica real i , basta derivar a equação acima em relação ao tempo, teremos:

$$\frac{dq}{dt} = i = \epsilon_0 A \frac{dE}{dt}. \quad (24)$$

Para calcular a corrente de deslocamento i_d , podemos empregar a equação da corrente de deslocamento. Se assumirmos que o campo elétrico \vec{E} entre as placas é uniforme, ou seja, desconsiderando o efeito de borda, podemos substituir o fluxo do campo elétrico pelo produto AE . Dessa forma, a equação da corrente de deslocamento se simplifica para:

$$i_d = \varepsilon_0 A \frac{d\Phi_E}{dt} = \varepsilon_0 \frac{d(AE)}{dt} = \varepsilon_0 A \frac{dE}{dt}.$$

Ao comparar as duas equações mencionadas da corrente elétrica real i e da corrente de deslocamento i_d , observamos que a corrente elétrica real i , associada à carga do capacitor, é igual à corrente fictícia de deslocamento i_d entre as placas do capacitor, ou seja:

$$i_d = i. \quad (25)$$

Dessa forma, é possível interpretar a corrente fictícia de deslocamento i_d como uma extensão da corrente elétrica real i na região entre as placas do capacitor. Vale ressaltar que a Lei de Ampère perderia sua coerência sem o termo adicional introduzido por Maxwell. Uma maneira simples de ilustrar isso é visualizar uma superfície aberta S_1 que define uma curva C , percorrida pela corrente de condução (veja Figura 6).

Podemos empregar a Lei de Ampère para determinar o campo magnético ao longo desse trajeto. No entanto, se mantivermos a curva C inalterada, mas modificarmos a superfície de tal maneira que ela atravesse entre as placas do capacitor sem ser percorrida pela corrente (superfície A_2), a Lei de Ampère convencional indicaria que a circulação do campo ao longo de C é nula. É evidente que o campo magnético real não pode depender da geometria de uma superfície fictícia. Isso sugere que algo está ausente na equação original: a corrente de deslocamento de Maxwell.

E as ondas Eletromagnéticas?

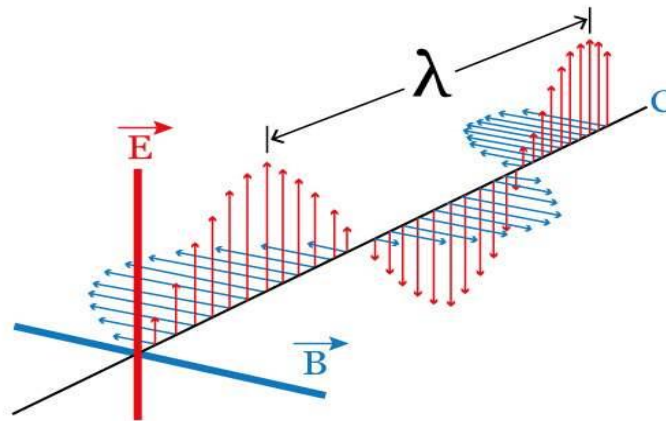
De acordo com as equações de Maxwell, um campo magnético em variação gera um campo elétrico induzido, da mesma forma que um campo elétrico em variação produz um campo magnético induzido. Com base nesse princípio, podemos compreender como as ondas eletromagnéticas são geradas. Por exemplo, ao considerarmos um eletroímã conectado a um gerador de corrente alternada, a variação da corrente na bobina do eletroímã resulta em variações no campo magnético em termos de magnitude e direção.

Conforme a lei de Faraday-Lenz, a variação de um campo magnético resulta na geração de um campo elétrico induzido. Esse campo elétrico induzido, por sua vez, também varia e, de acordo com a hipótese de Maxwell, provoca a indução de um campo magnético adicional. Esse campo magnético induzido, ao ser variável, por sua vez, gera um campo elétrico induzido, e assim o processo se repete de forma contínua. Dessa forma, os campos magnéticos e elétricos estão interligados e se propagam em todas as direções. Ao aplicar suas equações a perturbações desse tipo, Maxwell percebeu que elas exibiam um caráter ondulatório, transportando energia

e sujeitas a fenômenos como reflexão, refração, difração e interferência, semelhantes a outras formas de ondas conhecidas.

Assim, essas perturbações foram identificadas como ondas eletromagnéticas. A representação de uma onda eletromagnética demonstra que o campo magnético e o campo elétrico são mutuamente perpendiculares e ambos são perpendiculares à direção de propagação, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 6 – Representação da propagação de uma onda eletromagnética



Fonte: <https://images.app.goo.gl/myitAzWmm3MCXk969> . Acesso em: 10 jun. 2025.

Agora para demonstrar o que foi exposto sobre a radiação eletromagnética vamos considerar duas das equações de Maxwell na forma diferencial, são elas:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (26)$$

e

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{1}{c} \mu \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (27)$$

A partir das Eqs. (26) e (27) Maxwell relacionou elas e percebeu que deveria ter uma forma de ter o campo elétrico (\vec{E}) e o campo magnético (\vec{B}) oscilando no tempo e no espaço sem fontes. No caso para o campo elétrico temos

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0. \quad (28)$$

Equação de oscilação do campo elétrico, Eq. (28), está na forma vetorial agora vamos imaginar o campo elétrico \vec{E} oscilando em uma única direção (\vec{x}), então encontramos:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad (29)$$

análogo a equação de onda do campo elétrico existe para o campo magnético. Nesse sentido, a Eq. (29) é chamada de equação de onda porque a segunda derivada espacial é proporcional a segunda derivada temporal e podemos comparar com a equação de uma onda:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = 0. \quad (30)$$

Através da comparação entre as Eqs. (30) e (29) Maxwell percebeu que tanto a componente elétrica quanto a magnética obedece uma equação de onda que se propaga no espaço e no tempo ou seja é uma oscilação composta de dois campos: o Elétrico e o Magnético.

Comparando as Eq. 29 e 30 Maxwell pode encontrar a velocidade que essa onda se propaga, logo

$$v = c = 3.10^8 m/s. \quad (31)$$

Portanto, Maxwell percebeu que a radiação eletromagnética é uma onda e se propaga com a velocidade c no vácuo.

Mas se tem dois campos se propagando na forma de onda temos que representar através da função seno ou cosseno. Essas propriedades são compatíveis com uma onda eletromagnética que se propaga em direção x no sentido positivo, na qual o campo elétrico e o campo magnético oscilam paralelamente ao eixo z , nesse caso, podemos descrever os campos elétrico e magnético através de funções cossenos da posição x (ao longo do percurso da onda) e do tempo t :

$$\vec{E}(x, t) = \hat{j}E_0 \cos(kx - \omega t), \quad (32)$$

e

$$\vec{B}(x, t) = \hat{k}B_0 \cos(kx - \omega t), \quad (33)$$

Das Eqs. (32) e (33) temos que a grandeza ω representa a frequência de oscilação temporal e o k representa o número de onda ou frequência espacial, então

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (34)$$

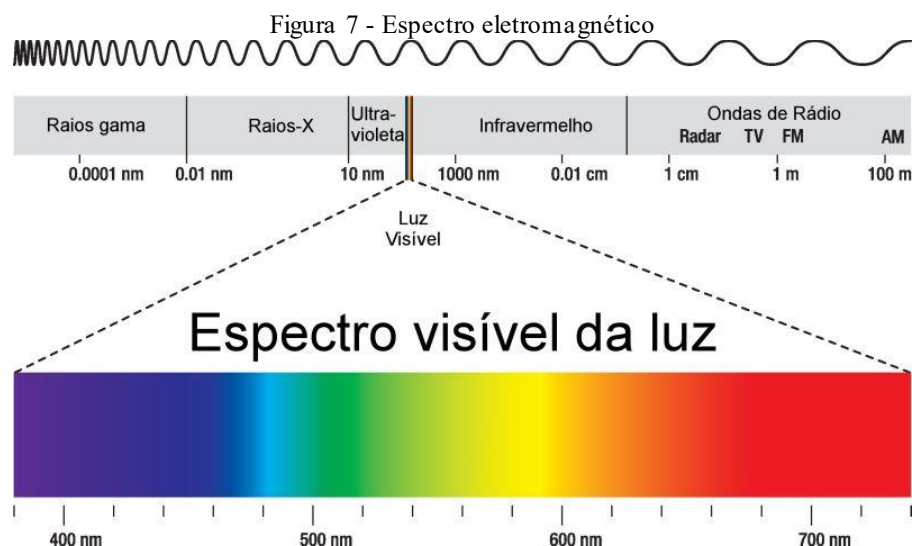
Das soluções (32) e (33), sabendo que a fase $kx - \omega t$ é uma constante, então, derivando com relação ao tempo t , obtemos

$$\frac{dx}{t} = \frac{w}{k} = c . \quad (35)$$

A equação para encontrar a velocidade dessa radiação é:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} . \quad (36)$$

Portanto, a radiação eletromagnética é a propagação no espaço e no tempo dos campos elétricos e magnéticos e que nesse caminho vão interagir com a matéria atômica (que possui cargas elétricas), e os efeitos dessa interação interessa e muito para entendermos as propriedades atômicas da matéria. Existem diversas formas de radiação eletromagnética como mostrada na figura 7, elas estão classificadas por ordem crescente de frequências a esse conjunto de ondas eletromagnéticas chama-se: espectro eletromagnético.

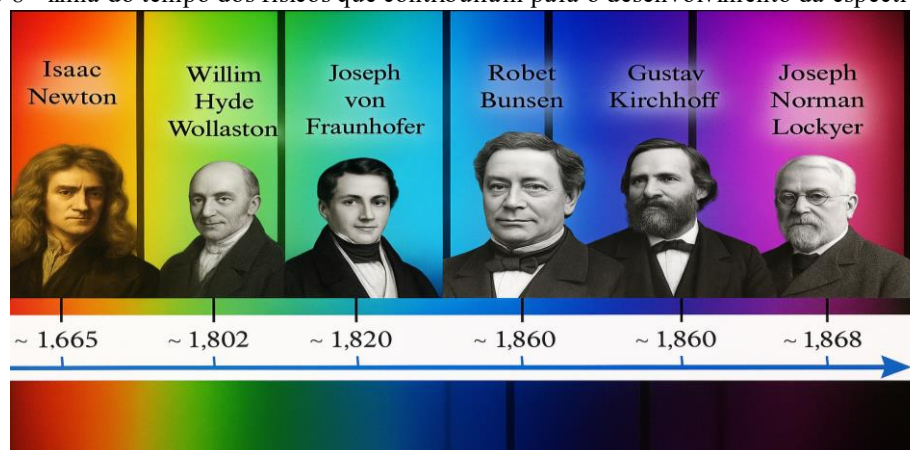


Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/> . Acesso em: 10 jun. 2025.

4.7 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

A área da física que se dedica ao estudo da radiação absorvida, refletida, emitida ou dispersa por uma substância é denominada espectroscopia. A espectroscopia óptica é uma aplicação dos fenômenos de interferência e difração da luz visível. Historicamente, desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da teoria quântica e, atualmente, é essencial para a caracterização e identificação de compostos. Na figura 9 está expresso na linha do tempo os principais cientistas que contribuíram para o desenvolvimento da espectroscopia.

Figura 8 - linha do tempo dos físicos que contribuíram para o desenvolvimento da espectroscopia.



Fonte: A autoria própria (2025)

4.7.1 Isaac Newton (1643 – 1727)

Certamente, podemos considerar como precursor do estudo da espectroscopia sendo o cientista Isaac Newton (1643-1727), pois seus estudos contribuíram para o avanço dos espectroscópios por meio de suas pesquisas sobre a natureza da luz (NEWTON, [1704] 1952).

A busca pela certeza e pela verdade nos fenômenos da natureza foi uma constante nos estudos de Newton. Nesse caso, ele realizou experimentos de decomposição da luz solar com um prisma, obtendo um contínuo de cores que ele denominou de spectrum. Esse foi o início do estudo do espectro eletromagnético que vai além da faixa visível observada por Newton.

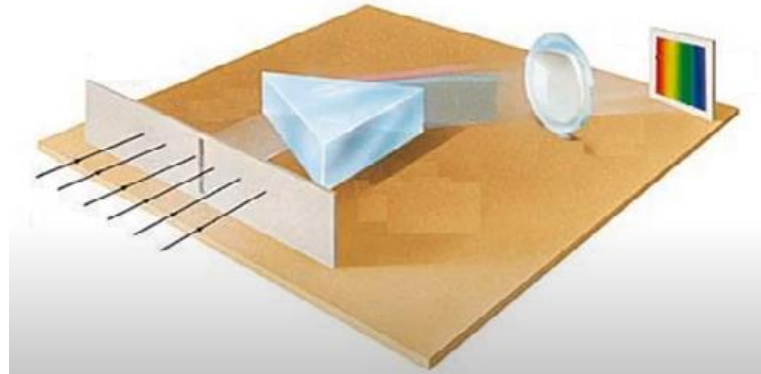
4.7.2 William Hyde Wollaston (1766 – 1828)

Químico britânico Wollaston, também se notabilizou por suas observações das linhas escuras do espectro solar que conduziram à descoberta dos elementos químicos do sol e por seus trabalhos sobre dispositivos ópticos.

Convém lembrar que, Wollaston repete o experimento de Newton e adiciona um elemento novo que é a fenda, por onde a luz vai passar, depois incidir no prisma (observe na Fig 12) que se decompõe e antes de ser projetado no anteparo a luz dispersa passa por uma lente para que tenha uma melhor observação da dispersão. Outrossim, a presença da fenda faz com que a luz se disperse mais (difração) e seja possível observar as franjas escuras no espectro da luz solar, lembrando que Newton não observou essas franjas. William Wollaston (1802) publicou um artigo sobre óptica no início do século XIX intitulado “A method of examining refractive and dispersive powers”. Durante essa pesquisa, ao investigar as propriedades de difração e dispersão de substâncias transparentes, Wollaston observou a existência de linhas escuras no espectro da luz solar. No entanto, de acordo com Hearnshaw (2014, p. 16), Wollaston

não reconheceu a relevância dessas linhas escuras, e estas não despertaram interesse imediato em outros cientistas.

Figura 9 – Ilustração do experimento de Wollaston



Fonte: Arquivo pessoal do pesquisador

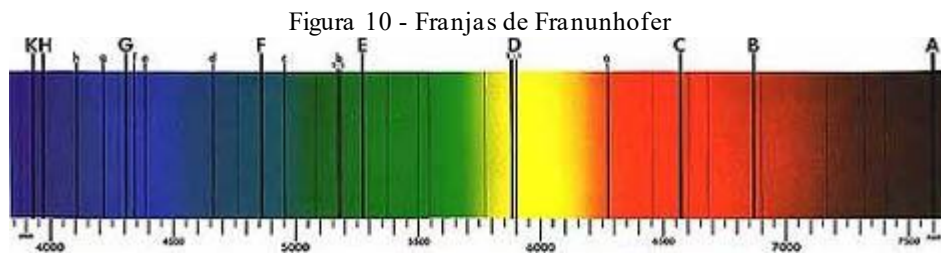
4.7.3 Joseph Von Frunhofer (1787 – 1826)

Joseph von Fraunhofer foi um óptico alemão que nasceu em 6 de março de 1787 na cidade de Straubing, na Baviera. Seu pai, Franz Xavier Fraunhofer, foi um grande vidreiro, e a família de sua mãe, Maria Anna Fröhlich, também tinha um excelente histórico na fabricação de vidros desde o século XVI (Jackson, 2000). Joseph von Fraunhofer fez contribuições importantes para a óptica, tanto no desenvolvimento de instrumentos ópticos quanto na compreensão da luz solar através da espectroscopia.

Embora as linhas escuras no espectro não tenham despertado o interesse de Wollaston, pouco mais de uma década depois, elas se tornariam de grande importância para Joseph Fraunhofer. Fraunhofer atuava no Instituto de Óptica em Benediktbeuern, próximo a Munique, onde desempenhava a fabricação de vidros para lentes acromáticas de alta qualidade. De acordo com Fraunhofer (1823, p. 288), os métodos utilizados até então para determinar os índices de refração dos vidros não forneciam resultados confiáveis. A dificuldade em realizar medidas precisas decorria da complexidade em definir com precisão os limites das cores no espectro contínuo. Para contornar esse desafio, Fraunhofer desenvolveu um dispositivo capaz de gerar um feixe de luz monocromática para cada cor do espectro. Esse dispositivo era composto por um mecanismo que incluía seis lâmpadas, obturadores e dois prismas. Com essa ferramenta, além de examinar os espectros gerados por chamas, Fraunhofer também investigou o espectro proveniente da luz solar, momento em que um detalhe intrigante chamou sua atenção. O espectro de luz encontrado mostrava, além das cores já previstas, numerosas linhas escuras

(FRAUNHOFER, 1823, p. 296). Mesmo quando parâmetros experimentais eram alterados, as linhas não desapareciam. Dessa forma, Fraunhofer se mostrou convencido de “que elas (as linhas) têm sua origem na natureza da luz solar e que elas não podem ser atribuídas à ilusão, à aberração ou qualquer outra causa secundária.” (FRAUNHOFER, 1823, p. 298). O espectro de luz revelava não apenas as cores esperadas, mas também diversas linhas escuras. Mesmo com a alteração dos parâmetros experimentais, essas linhas permaneciam visíveis. Diante disso, Fraunhofer ficou convencido de que "elas (as linhas) têm sua origem na natureza da luz solar e não podem ser atribuídas a ilusões, aberrações ou qualquer outra causa secundária." Essas linhas foram utilizadas como pontos de referência para a precisa determinação dos índices de refração.

Assim, Fraunhofer através de um equipamento mais preciso conseguiu mapear um grande conjunto de franjas escuras (Fig. 10) da luz solar. Através da Figura 10 podemos perceber que ele nomeou os grupos de franjas em cada cor, e essa descrição ficou conhecido como as franjas de Fraunhofer.



É importante ressaltar que Fraunhofer não produziu explicação para o aparecimento dessas franjas do espectro da luz solar. Ademais, a questão da origem das linhas escuras de Fraunhofer intrigou diversos pesquisadores, tanto no âmbito teórico quanto no experimental. A compreensão da origem das linhas espectrais e sua aplicação na identificação de amostras químicas avançaram significativamente com as pesquisas de Gustav Kirchhoff em parceria com Robert Bunsen.

4.7.4 Gustav Kirchhoff E Robert Bunsen (1834-1877)

Contudo, tais linhas espectrais só puderam ser compreendidas após os trabalhos de Gustav Kirchhoff (1834-1887) e Robert Bunsen (1811-1899) que durante a segunda metade da década de 1850, Bunsen (Fig. 15) estava envolvido na identificação das composições químicas de sais através das cores emitidas por suas chamas. Ele compartilhou suas pesquisas sobre esse assunto com Kirchhoff (fig. 15), que sugeriu um método baseado na dispersão prismática das cores das chamas (James, 1983). Em outubro de 1859, Kirchhoff se debruçou sobre essa questão

examinando experimentalmente a coincidência entre as linhas brilhantes do espectro do sódio e as linhas escuras do espectro solar (Kirchhoff, 1859a). Kirchhoff descreveu que o sódio, que emite luz correspondente à (dupla) linha D, também tende a absorver, seletivamente, luz correspondente a essa mesma posição no espectro, isto é, o sódio tende a emitir e a absorver luz de mesmo comprimento de onda – Kirchhoff chamou esse fenômeno de reversão espectral (*Umkehrung des Spektrums*) (Kirchhoff; Bunsen, 1860). Dessa forma, a presença da linha D no espectro solar indicaria a presença do elemento sódio no Sol. Essas discussões foram comunicadas por Kirchhoff em seu artigo *Über die Fraunhofer'schen Linien* (Kirchhoff, 1859a). Neste estudo, Kirchhoff descreveu de forma qualitativa o fenômeno da reversão entre as linhas brilhantes e as linhas escuras do espectro, além de discutir o efeito de intensificação das linhas de Fraunhofer quando a luz solar ao passar por uma chama de sódio. A base teórica desse estudo foi detalhada em dois artigos publicados consecutivamente.

Indubitavelmente, eles desenvolveram o espectroscópio (Fig. 11) de emissão, que envolve a análise do espectro de luz emitido por materiais queimados, e estabeleceram a base teórica para entender as linhas espectrais. Nesse novo equipamento eles adicionaram elementos novos para fazer a análise, como o queimador que é uma invenção do Bunsen. Inegavelmente, que essa invenção permite analisar a coloração do material que está sendo queimado e não a luz emitida pela queima do gás.

Figura 11 - espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff



Fonte: <https://images.app.goo.gl/5eiR2uCOvBSYxXPBA> . Acesso em: 10 jun. 2025.

A colaboração entre Kirchhoff e Bunsen entre 1859 e 1861 foi fundamental para estabelecer as bases teóricas e experimentais da análise espectral. Eles demonstraram que, sob uma ampla variedade de condições, um elemento químico específico sempre geraria o mesmo conjunto distintivo de linhas espectrais, permitindo inferir a presença desse elemento. A análise espectral inicialmente despertou o interesse de químicos e astrônomos, mas logo também atraiu a atenção dos físicos, que reconheceram sua importância para a compreensão da estrutura da

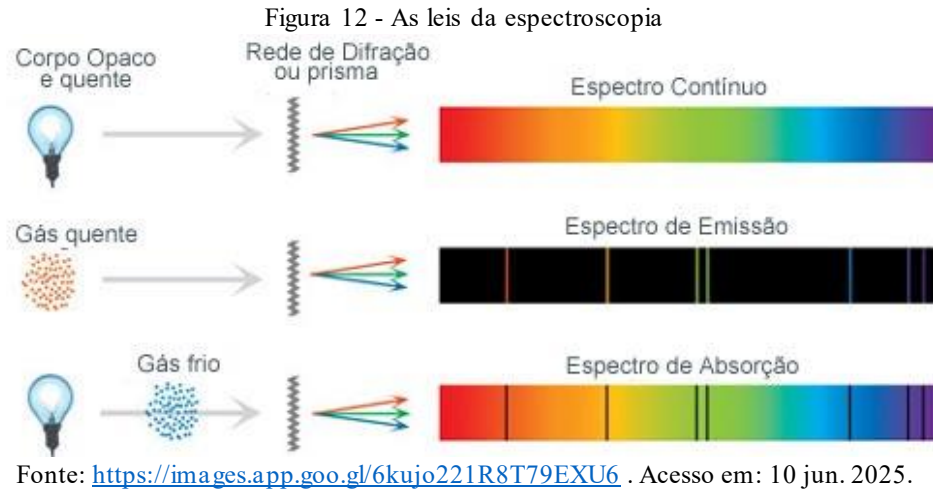
matéria (McCormach; Jungnickel, 2017). Agora, com esse equipamento eles podem saber a posição e o ângulo de cada cor e com essas informações propor uma matemática para localizá-la no espectro.

Dessa forma, após fazer espectroscopia da luz da queima de vários materiais, Kirchhoff e Bunsen propuseram que as linhas escuras estavam ligadas à absorção seletiva do espectro contínuo produzido pelas altas temperaturas no interior do Sol pelas camadas de gases mais externos.

A importância do estudo de Kirchhoff sobre as linhas de Fraunhofer e o contexto histórico que o envolve são evidentes. No entanto, a falta de fontes historiográficas em nosso idioma ainda representa um desafio para estudantes e professores. A partir disso, Kirchhoff determinou três leis que explicam a formação dos espectros:

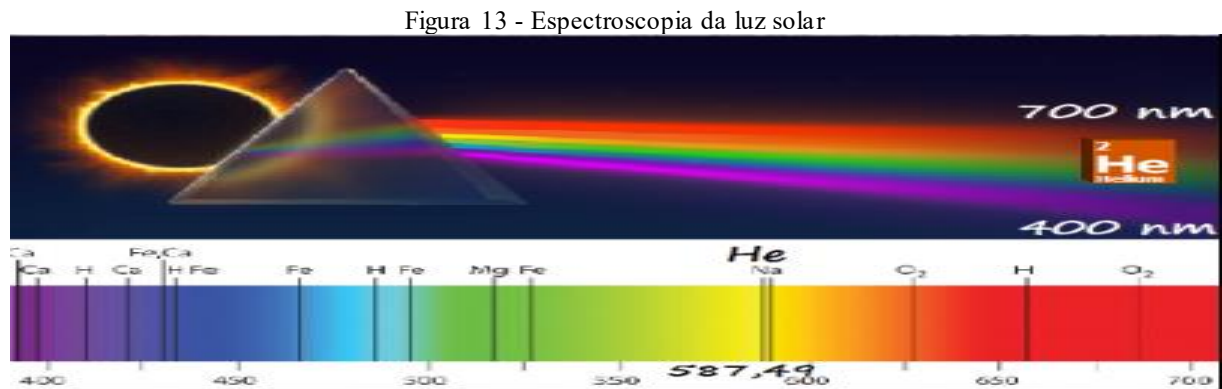
- i. O espectro contínuo é emitido por um corpo opaco quente (muito denso), sendo sólido, líquido ou gasoso;
- ii. Um gás transparente (pouco denso), produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a cor dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás;
- iii. O espectro de absorção é produzido quando um espectro contínuo passar por um gás a temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (de absorção).

Assim como no espectro de emissão, o número e a posição dessas linhas (Fig.17) dependem dos elementos químicos presentes no gás (K. S. Oliveira 2017). O primeiro espectro estelar foi observado por Fraunhofer e Angelo Secchi (1818- 1878) (P. Massey e M. M. Hanson – 2013).



4.7.5 Pierre Julis Janssen (1824-1907)

Em 1868 o astrônomo francês Pierre-Jules-César Janssen (1824-1907) desempenhou um papel crucial na descoberta do hidrogênio no Sol. Sua descoberta foi resultado de uma série de observações durante um eclipse solar em 18 de agosto de 1868, na cidade de Guntur, na Índia. Durante o eclipse (Fig. 18), Janssen e o astrônomo inglês Joseph Norman Lockyer (1836-1920) observaram o espectro solar usando um espectroscópio e perceberam que havia uma linha spectral amarela brilhante no espectro solar que não correspondia a nenhuma linha de emissão conhecida de elementos terrestres.

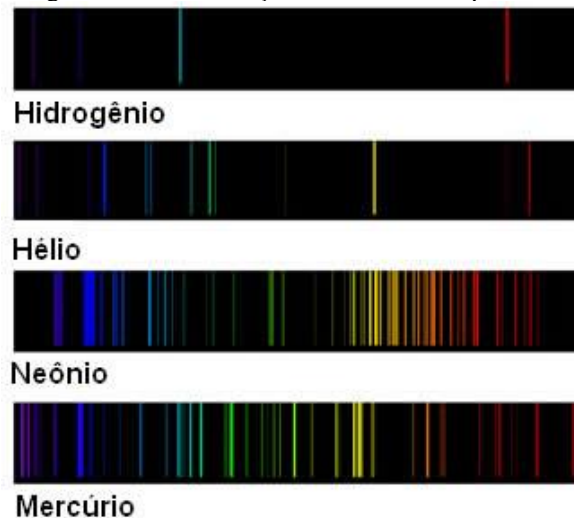


Essa linha spectral não identificada chamou a atenção de Janssen e Lockyer, que logo perceberam que ela estava presente mesmo quando o Sol estava completamente eclipsado pela Lua. Isso indicava que essa linha não poderia ser devida à atmosfera terrestre. Eles concluíram que essa linha spectral era de origem solar, sugerindo a presença de um novo elemento no Sol. Lockyer chamou essa linha spectral de "D" (por causa de sua localização na parte amarela do espectro) e propôs o nome "hélio" para o novo elemento, derivado da palavra grega "helios", que significa Sol.

Foi apenas alguns anos depois, em 1895, que o químico britânico Sir William Ramsay conseguiu isolar o hélio na Terra. Ramsay e seu colaborador, o químico britânico Lord Rayleigh, descobriram que o hélio era um componente do gás liberado durante a decomposição do mineral uraninita.

Portanto, a partir dos trabalhos de Kirchhoff e Bunsen foi possível criar um catálogo de identificação dos elementos químicos (Fig. 19).

Figura 14 - Identificação dos elementos químicos



Fonte: <https://images.app.goo.gl/DVxAgXS47ABauDJHA> . Acesso em: 10 jun. 2025.

Dessa forma, determinar esses elementos químicos apenas com as linhas espectrais é um estudo muito empírico, por isso que surge alguns questionamentos como:

- Por que cada elemento químico tem uma assinatura luminosa diferente?
- Qual é o mecanismo de absorção e emissão de luz?

As respostas para essas perguntas estão na estrutura da matéria que os cientistas chamaram de átomos, então descobrir o modelo atômico é possível trazer uma resposta para essas indagações.

4.8 LEI DO DESLOCAMENTO DE WIEN

No final do século XIX, a física vivenciava um período de consolidação da chamada física clássica, caracterizada pelo sucesso das leis de Newton, Maxwell e da termodinâmica. A crença predominante era de que os fenômenos naturais poderiam ser totalmente compreendidos com base nesses princípios. Contudo, um desafio experimental específico surgiu e veio a questionar essa confiança: o estudo da radiação emitida por corpos negros.

Nesse contexto, um avanço significativo na determinação de $L(\nu)$ (a entropia transportada pelas radiações com frequência ν ou intensidade espectral de entropia) foi alcançado por Wien em 1893. Embora não se reproduza aqui a sua análise completa, apresentam-se a seguir as ideias principais. Wien concebeu uma compressão adiabática do volume ocupado pela radiação e analisou o que ocorre próximo a uma parede hipotética, considerada refletora perfeita. Essa parede move-se lentamente, fazendo com que a radiação incidente nela, com frequência ν , seja refletida com uma frequência ligeiramente maior, devido ao efeito Doppler. A relação entre a frequência da radiação incidente e a frequência da refletida é bem conhecida. Wien também examinou o balanço energético na superfície dessa parede: a cada segundo ocorre uma perda de energia no feixe incidente devido à reflexão, que altera a direção de propagação, e simultaneamente há um aumento na intensidade da onda refletida (Lage, 2021).

A diferença, que seria nula se o espelho estivesse parado, passa a não ser nula por duas razões principais. Primeiro, o espelho realiza trabalho contra as forças de pressão existentes. Segundo, devido ao seu movimento, o espelho reduz o volume disponível, diminuindo assim a energia associada tanto à radiação incidente quanto à radiação refletida. Considerando todos esses fatores, Wien concluiu que a razão entre a intensidade espectral e a frequência ao cubo, $\frac{I(\nu)}{\nu^3}$, permanece constante durante o movimento lento do espelho. Como esse movimento é lento, a transformação é adiabática, o que implica que a entropia não pode variar. Então, $\frac{I(\nu)}{\nu^3}$ e $\frac{L(\nu)}{\nu^2}$ permanecem constantes, ou seja,

$$\frac{L(\nu)}{\nu^2} = F \left(\frac{I(\nu)}{\nu^3} \right). \quad (37)$$

Uma outra relação fundamental da termodinâmica estabelece que a variação da entropia espectral, em função da energia espectral, é inversamente proporcional à temperatura:

$$\frac{\partial L(\nu)}{\partial I(\nu)} = \frac{1}{T}. \quad (38)$$

A partir da Eq. (37), sabemos que $F(x)$ é uma função ainda não conhecida. No entanto, ao relacionar a Eq. (37) com a Eq. (38), chegamos a:

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial}{\partial I(\nu)} \left[\nu^2 F \left(\frac{I(\nu)}{\nu^3} \right) \right] = \frac{1}{\nu} \dot{F} \left(\frac{I(\nu)}{\nu^3} \right). \quad (39)$$

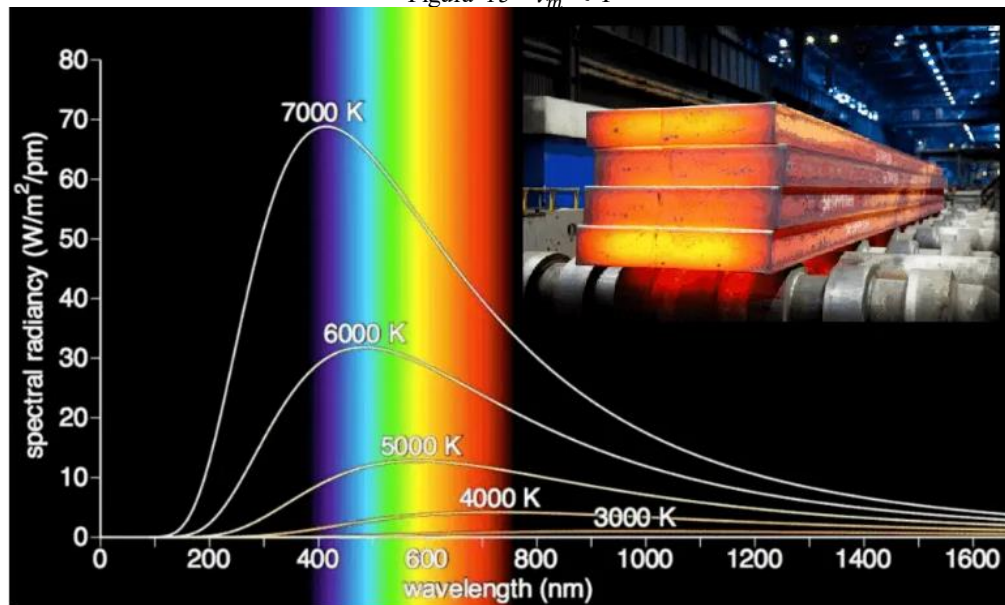
O ponto na Eq. (39) indica a derivada da função $F(x)$ em relação ao seu argumento. Dessa maneira, reescrevemos a Eq. (39) na forma:

$$\frac{I(\nu)}{\nu^3} = f\left(\frac{\nu}{T}\right)$$

Foi um avanço significativo na resolução do problema apresentado por Kirchoff – a intensidade espectral, que depende da frequência e da temperatura, pode ser expressa por meio de uma única função de uma variável. Isso simplificou bastante o problema, reduzindo-o à determinação da função $f(x)$.

Portanto, a intensidade espectral $I(\nu)$, quando considerada em função da frequência ν , apresenta um valor máximo, e é fácil concluir que a frequência desse máximo (ν_m) é diretamente proporcional à temperatura.

Figura 15 - $\nu_m \propto T$



Fonte: <https://images.app.goo.gl/MMWj2G1xcKJAK2XC9>. Acesso em: 10 jun. 2025.

Assim, quanto maior for a temperatura, maior será a frequência na qual a intensidade espectral atinge seu máximo — em termos simples, isso determina a cor do objeto aquecido. Essa relação é conhecida como a lei do deslocamento de Wien (pela qual Wien recebeu o Prêmio Nobel em 1911) e está claramente confirmada pela experiência: ao aquecer um corpo, ele começa a emitir radiação no infravermelho, seguida pelo vermelho, amarelo, azul e ultravioleta. Os progressivos menores comprimentos de onda correspondem diretamente às crescentes frequências da radiação predominante (fig. 21). Experimentalmente, constatou-se que:

$$\lambda_m T = 0,2898 \text{ cmK.}$$

Dessa forma, à temperatura ambiente ($T = 300 \text{ K}$), a radiação térmica predominante possui um comprimento de onda $\lambda_m \approx 96 \mu\text{m}$, ou seja, situa-se na faixa do infravermelho. Um corpo que emitisse dessa maneira nos pareceria completamente negro.

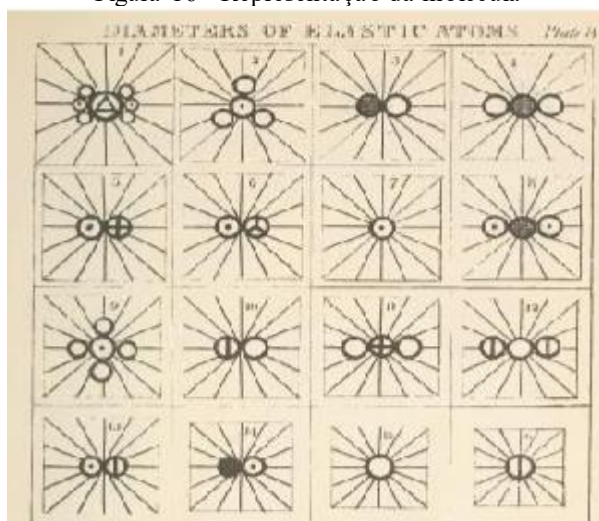
Assim, a Lei de Wien surge num momento de tensão entre o sucesso da física clássica e o aparecimento de fenômenos que ela não podia explicar. Como observa Moreira (2011), “a ciência avança quando seus próprios paradigmas são colocados em xeque por meio da experimentação e da análise crítica”. A contribuição de Wien é, portanto, um exemplo de como a observação cuidadosa e a modelagem teórica fundamentada em princípios termodinâmicos podem abrir caminho para revoluções conceituais.

4.9 ALGUNS MODELOS ATÔMICOS NO COMEÇO DO SÉCULO XX NARRATIVA HISTÓRICA

4.9.1 Modelo Atômico De John Dalton (1766 – 1844)

O modelo atômico de Dalton, proposto em 1803 por John Dalton, representa um marco fundamental no desenvolvimento da compreensão científica da matéria. Esse modelo reflete uma visão inovadora para a época, sugerindo que a matéria seria composta por pequenas partículas indivisíveis chamadas átomos, sendo uma perspectiva que retomava, com embasamento científico mais consistente, ideias anteriormente apresentadas por Demócrito na Grécia Antiga. Lembrando que a construção do modelo de Dalton teve início em 1802, com a publicação da primeira lei das misturas gasosas, e foi concluída em 1810, quando apresentou as mudanças teóricas desenvolvidas a partir de 1804. Nesse ano, Dalton teve um encontro com T. Thomson e W. Henry, no qual discutiram as bases de sua teoria atômica. Segundo Viana (2000), o próprio Dalton reconheceu, em seu trabalho de 1810, o ano de 1804 como o marco definidor de sua teoria atômica.

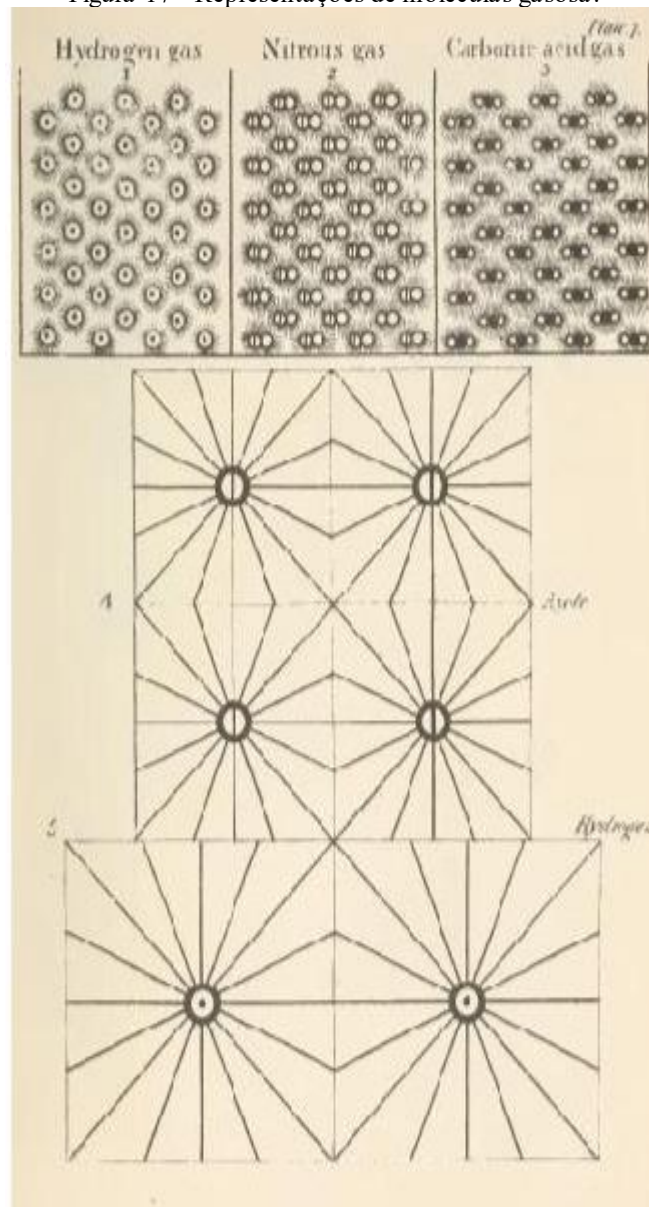
Figura 16 - Representação da molécula



Fonte: Livro de Dalton de 1810.

Segundo Caruso e Oguri (2006), Dalton fundamentou seu modelo atômico em três postulados principais. Primeiro, afirmava que os átomos eram partículas extremamente pequenas e indivisíveis. Segundo, todos os átomos de um mesmo elemento seriam idênticos em massa e propriedades. Por último, as reações químicas consistiriam na reorganização desses átomos, sem alteração de suas características essenciais (CARUSO; OGURI, 2006). Assim, outra preocupação de Dalton foi representar os átomos gasosos, ilustrando graficamente como seu modelo atômico explicava estados de maior repulsão. Para ele, o estado gasoso ocorria quando a "atmosfera" de calórico atingia seu valor máximo, conforme demonstrado na figura 17.

Figura 17 - Representações de moléculas gasosa.



Fonte: Dalton (1810).

Dalton estabeleceu ainda o conceito de massa atômica relativa e leis ponderais, tais como a Lei das Proporções Definidas e a Lei das Proporções Múltiplas, contribuindo diretamente para o avanço da química analítica e da estequiometria. Para Caruso e Oguri (2006), essas leis representam uma das contribuições mais relevantes e duradouras do modelo de Dalton, pois permitiram o estabelecimento das bases quantitativas das combinações químicas.

Apesar da solidez inicial, o modelo de Dalton apresentou limitações importantes, sobretudo após descobertas subsequentes relacionadas à estrutura interna do átomo, como a existência dos elétrons, prótons e nêutrons. Essas descobertas mostraram que, ao contrário do postulado de Dalton, os átomos são compostos por subpartículas menores, desafiando a ideia inicial de indivisibilidade (Caruso; Oguri, 2006).

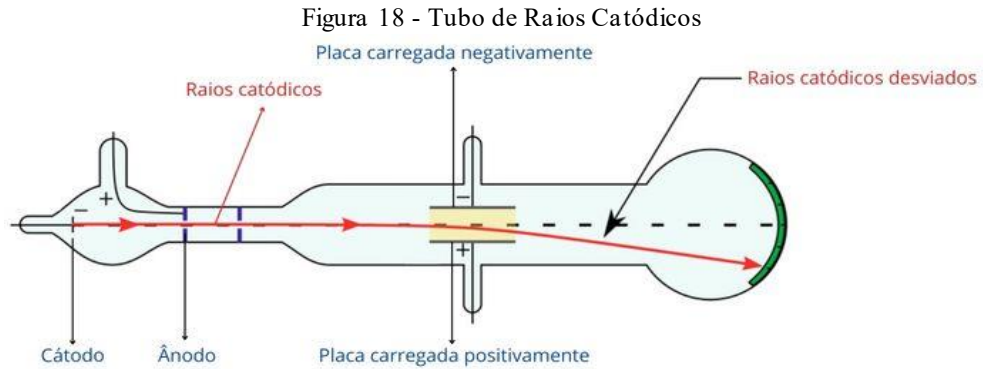
Portanto, embora tenha sofrido revisões significativas ao longo do tempo, o modelo atômico de Dalton é reconhecido como uma base essencial para o desenvolvimento dos modelos atômicos posteriores, proporcionando um primeiro arcabouço conceitual sólido para estudos científicos mais profundos sobre a matéria e sua composição.

4.9.2 Modelo Atômico Joseph John Thomson (1856-1940)

O modelo atômico de Thomson, proposto pelo físico britânico Joseph John Thomson em 1897, marcou uma evolução crucial em relação ao modelo atômico de Dalton, trazendo à luz a existência de partículas subatômicas. Esse modelo, frequentemente denominado de "modelo do pudim de passas", descrevia o átomo como uma esfera carregada positivamente, na qual elétrons, partículas negativas recém-descobertas por Thomson, estariam distribuídos uniformemente, semelhante às passas espalhadas em um pudim.

A obra "*Estrutura Atômica*" de Caruso e Oguri (2006) destaca que o modelo de Thomson foi fundamental para o desenvolvimento da teoria atômica moderna, servindo como ponte entre os modelos de Dalton e Rutherford. Além disso, Thomson utilizou ferramentas matemáticas avançadas para sua época, incluindo cálculos eletrostáticos, para fundamentar suas hipóteses.

J. J. Thomson não é conhecido principalmente pelo desenvolvimento de cálculos matemáticos avançados especificamente relacionados ao modelo atômico, mas sim pela experimentação direta envolvendo os raios catódicos. Contudo, ele realizou cálculos fundamentais durante seus experimentos para determinar a relação carga/massa ($\frac{e}{m}$) do elétron, como observado na figura 18.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/mnoYvweU9oHXqR4j6> . Acesso em: 10 jun. 2025.

A **deflexão magnética em raios catódicos** observada por J.J. Thomson foi crucial para o entendimento da natureza das partículas subatômicas, especialmente do elétron.

De acordo com Tipler e Mosca (2010), o modelo de Thomson foi essencial para estimular pesquisas posteriores na estrutura do átomo, especialmente ao sugerir a existência de cargas positivas para contrabalançar as cargas negativas dos elétrons, garantindo a neutralidade elétrica dos átomos. Apesar disso, o modelo de Thomson possuía limitações claras, particularmente por não conseguir explicar satisfatoriamente os resultados experimentais posteriores, como o espalhamento de partículas alfa, que culminou com a proposta do modelo atômico de Rutherford.

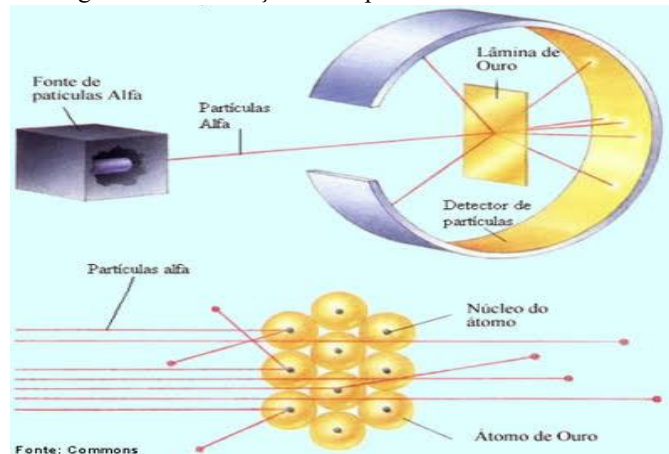
Ainda que posteriormente superado, o modelo de Thomson contribuiu decisivamente para o avanço da física atômica e da química, oferecendo o primeiro vislumbre da complexidade interna dos átomos e influenciando a elaboração de modelos subsequentes mais sofisticados e precisos (Halliday; Resnick; Walker, 2013).

4.9.3 O Atômico Ernest Rutherford

Esse modelo foi proposto em 1911 pelo físico neozelandês Ernest Rutherford, representou um significativo avanço no entendimento científico sobre a estrutura do átomo, superando as limitações do modelo anterior, proposto por Thomson.

Esse modelo surgiu como consequência direta de uma série de experimentos conduzidos por Rutherford, juntamente com seus colaboradores Hans Geiger e Ernest Marsden, conhecidos como "experimentos da lâmina de ouro". Nesse experimento, partículas alfas, emitidas por uma fonte radioativa, eram direcionadas contra uma fina lâmina de ouro. Observou-se que a maioria das partículas atravessava diretamente a lâmina sem sofrer desvio perceptível, porém algumas poucas partículas eram defletidas sob grandes ângulos, algumas retornando em direção à fonte. Como demonstrado na figura 19.

Figura 19 – Ilustração do experimento de Rutherford



Fonte: <https://images.app.goo.gl/BrDjGHq9NqX31tXq8> . Acesso em: 10 jun. 2025.

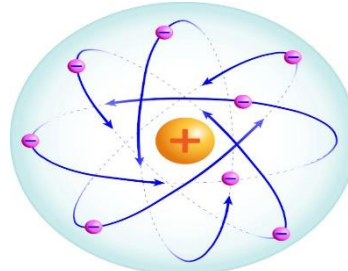
Diante desse resultado surpreendente, Rutherford afirmou: "O espalhamento de partículas alfa para trás foi tão surpreendente quanto seria disparar uma bala de canhão de 15 polegadas contra uma folha de papel e vê-la retornar e atingir você." (Rutherford *apud* Tipler; Llewellyn, 2013, p. 58).

Com base nesse fenômeno, Rutherford propôs que o átomo não poderia ser uma estrutura maciça e homogênea, como previa o modelo de Thomson. Em vez disso, o átomo deveria ser composto por:

- a) Um núcleo pequeno, denso e carregado positivamente, que concentra praticamente toda a massa do átomo;
- b) Elétrons que orbitam o núcleo a certa distância, ocupando a chamada eletrosfera;
- c) Grande parte do átomo seria espaço vazio, explicando por que a maioria das partículas alfa atravessa a lâmina de ouro sem sofrer desvios.

Conforme Caruso, Oguri e Silveira (2016, p. 125), "a ideia de que toda a carga positiva do átomo estaria concentrada em uma região minúscula levou à concepção de que os elétrons se moviam ao redor desse núcleo, como planetas ao redor do Sol", o que levou o modelo de Rutherford a ser conhecido como modelo planetário do átomo, ver Figura 20.

Figura 20 - Modelo atômico de Rutherford.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/7dx2rPXCE7pMSPeFA> . Acesso em: 10 jun. 2025.

Entretanto, o modelo apresentava sérias limitações teóricas, sobretudo no que se refere à estabilidade do átomo. Segundo a eletrodinâmica clássica, uma carga elétrica acelerada (como um elétron em órbita) deveria emitir energia continuamente sob a forma de radiação eletromagnética, o que implicaria em uma espiralização do elétron em direção ao núcleo e consequente colapso do átomo, o que não condizia com a estabilidade observada nos átomos reais.

Essa contradição motivou novos avanços, como a proposta de Niels Bohr em 1913, que incorporou conceitos da teoria quântica nascente para explicar a estabilidade atômica e os espectros atômicos discretos.

4.9.4 O Modelo Atômico De Bohr

A proposta de Niels Bohr para o modelo atômico, publicada em 1913, representou uma síntese entre os avanços da mecânica clássica e os novos conceitos da física quântica, principalmente os introduzidos por Planck e Einstein. Ao tentar explicar a estabilidade do átomo e o espectro discreto de emissão do hidrogênio, Bohr estabeleceu três postulados fundamentais, os quais levaram à formulação de um modelo quantizado das órbitas eletrônicas.

Segundo Bohr, o elétron move-se em órbitas circulares ao redor do núcleo devido à atração coulombiana, e cada órbita está associada a um valor discreto de energia. Para evitar a perda contínua de energia por radiação (como previa o eletromagnetismo clássico), Bohr postulou que o momento angular do elétron é quantizado, dado por: “o momento angular do elétron em torno do núcleo só pode assumir valores múltiplos inteiros de \hbar ” (Caruso; Oguri, 2012, p. 209).

$$L = n\hbar,$$

$$n = 1, 2, 3,$$

onde $h = 6,63 \times 10^{-34} J \cdot s$ é a constante de Planck e $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Assim, a força centrípeta necessária para manter o elétron em órbita é fornecida pela força de atração coulombiana entre o elétron e o próton:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{ke^2}{r^2} \rightarrow mv^2 = \frac{ke^2}{r}, \quad (40)$$

onde $k = 9 \times 10^9 N \frac{m^2}{c^2}$ é a constante coulombiana.

Considerando a quantização do momento angular:

$$L = mvr = n\hbar, \quad (41)$$

substituindo a Eq. (41) na Eq. (40), ficamos com

$$\frac{n^2 \hbar^2}{mr^2} = \frac{ke^2}{r} \rightarrow r_n = n^2 a_0, \quad (42)$$

onde $a_0 = \frac{\hbar^2}{mke^2} = 5,29 \times 10^{-11} m$ é o raio de Bohr.

A energia total do elétron, que é a soma da energia cinética com a energia potencial, é dada por

$$E_n = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{ke^2}{r}. \quad (43)$$

Usando a Eq. (40) na Eq. (43), ficamos com

$$E_n = \frac{1}{2} \frac{ke^2}{r} - \frac{ke^2}{r} = -\frac{1}{2} \frac{ke^2}{r}. \quad (44)$$

Finalmente, substituindo a Eq. (42) na Eq. (44), obtemos

$$E_n = -\frac{mk^2e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}. \quad (45)$$

A energia de cada nível, segundo Krane (2001, p. 117), é expressa como: “A energia dos estados ligados no hidrogênio é inversamente proporcional ao quadrado do número quântico principal n , com valor máximo (em módulo) de 13,6 eV no estado fundamental.”

Logo, a Eq. (45) pode ser reescrita na seguinte forma simplificada:

$$E_n = -13,6 \text{ eV} \frac{1}{n^2}. \quad (46)$$

As transições eletrônicas de Emissão de energia, quando um elétron salta de um nível n_i para outro nível inferior n_f , ocorre quando a diferença de energia é igual a energia de um fóton $h\nu$ (Einstein, 1905):

$$\Delta E = E_{n_i} - E_{n_f} = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \rightarrow \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (47)$$

onde $R_H = \frac{mk^2e^4}{4\pi c \hbar^3} = 1,097 \times 10^7 m^{-1}$ é a constante de Rydberg. De acordo com Máximo e Alvarenga (2009, p. 371), essa equação permite calcular o comprimento de onda das linhas espectrais do hidrogênio.

Apesar do sucesso em explicar o espectro do hidrogênio, o modelo de Bohr apresenta sérias limitações. Conforme observa Krane (2001, p. 120): “O modelo de Bohr funciona apenas para sistemas de um único elétron. Ele falha completamente ao tentar descrever átomos multieletrônicos ou estruturas mais refinadas”.

Além disso, o modelo é incompatível com o princípio da incerteza de Heisenberg e com a dupla natureza do elétron, como demonstrou, posteriormente, de Broglie e Schrödinger.

4.10 ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: INTERAÇÃO RADIAÇÃO – MATÉRIA (MODELO SEMI-CLÁSSICO).

No modelo semi-clássico da interação da luz com a matéria tem uma parte da explicação que continua clássica e outra parte quântica. Nesse contexto, o campo elétrico da radiação continua clássica, como podemos perceber através da equação do campo elétrico \vec{E} que ele oscila no tempo e no espaço.

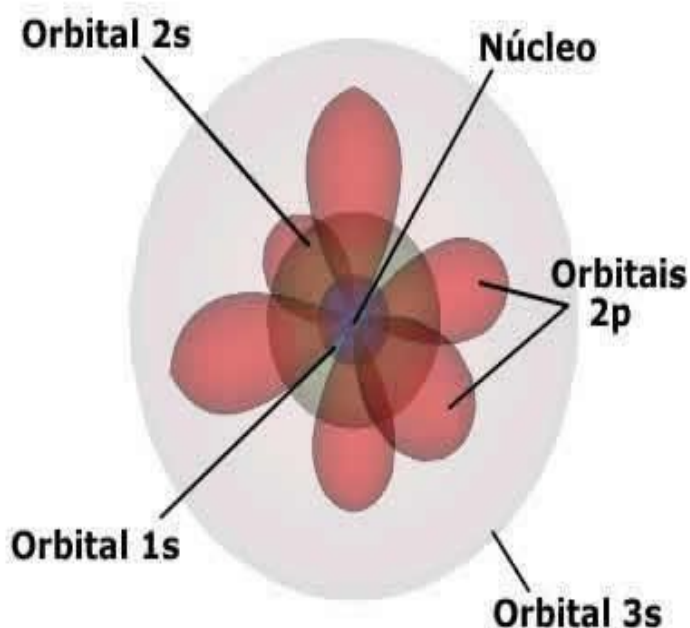
$$\vec{E} = \hat{e}E_x \cos(kx - \omega t). \quad (48)$$

A parte não clássica é o átomo que agora é quântico, o que difere é que agora não podemos mais ter a força realizando trabalho transformando energia. Agora para o átomo quântico vai ser utilizado alguns conceitos diferentes para isso o entendimento da nova interação do campo com a matéria é fundamental.

O que é o átomo quântico?

Ora, se a parte quântica é o átomo, então compreender a estrutura dele é fundamental, portanto, para Mecânica Quântica (M.Q) a energia que está contida no átomo é quantizada, ou seja, está em determinadas distribuições de cargas do elétron ao redor do núcleo e isso dar origem aos orbitais quânticos, onde cada um orbital tem um nível de energia, ver Fig. 21.

Figura 21 – Representação do modelo atômico quântico



Em outras palavras, a essência de tudo vai ser demonstrar a interação dos campos (\vec{E} e \vec{B}) com esses orbitais sendo capaz de modificá-los. Mas a interação da radiação com a matéria em qualquer dos modelos vai ser através das cargas ou do spin (o spin tem grande interação com o campo magnético). É importante ressaltar que no átomo quântico não iremos montar as equações de forças para transformar energia, vai ser preciso outro tipo de conceito para entender essa interação. Em síntese, no átomo quântico as distribuições de cargas não variam continuamente são coisas discretizadas, apenas algumas distribuições são permitidas por isso o conceito de força é proibido pois ela age continuamente, e, para onde é possível que os elétrons fiquem distribuídos damos o nome de orbitais quânticos.

No entanto agora, quando a onda eletromagnética atua na matéria os elétrons devem ir de um nível de energia permitido para outro, o que chamamos de salto quântico. Em resumo, de acordo com a Fig. 21 qualquer configuração do elétron, no átomo, deve ser composta de orbitais pois é isso que a natureza nos fornece.

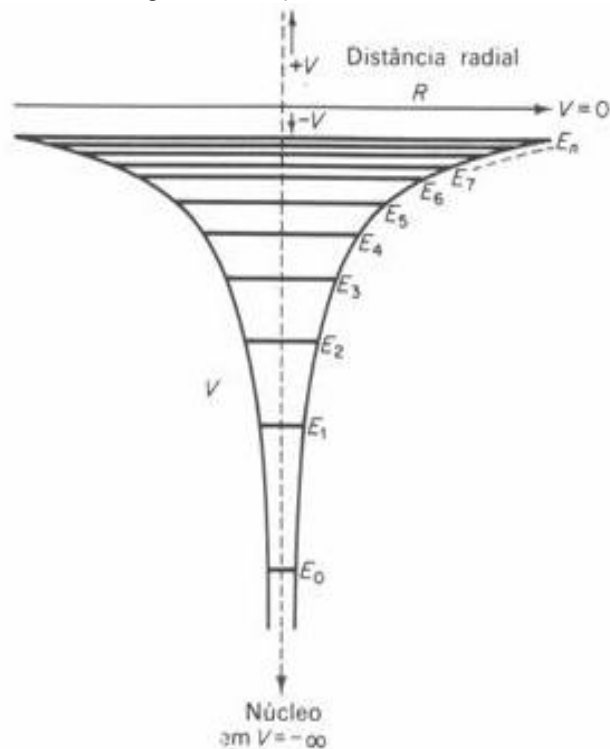
No átomo quântico trabalhamos com a mecânica ondulatória, ou seja, a equação que determina como essa nuvem eletrônica se comporta no átomo não é dado simplesmente pela interação de cargas e campos (modelo clássico), aqui é determinado pela equação de onda, pois para a quântica o elétron não se comporta apenas como partícula de carga e massa ele tem um comportamento ondulatório e por esse motivo aparece a equação de onda e não de forças. Então, nessa configuração do átomo os orbitais atômicos são discretização da distribuição do elétron envolta do núcleo por isso obtemos energias discretas. Devido essa discretização, quando a luz incide sobre o sistema quântico os elétrons só podem se mover de um orbital permitido para outro através de um “salto”, apenas esse movimento é permitido. Por esse motivo, do ponto de vista quântico a interação da radiação com a matéria provoca um deslocamento de elétrons de um nível de energia existente para outro dentro da característica quântica do átomo.

Quanticamente, analisando o átomo o elétron está confinado pelo núcleo através do potencial, ver Eq. (49)

$$V(r) = - \frac{Z e^2}{r}, \quad (49)$$

onde Z é o número atômico e o negativo significa que a força é atrativa, e, a descrição melhor dessa configuração pode ser vista através da figura 22.

Figura 22 - Poço Potencial Infinito



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20022/Alberto/6.htm> . Acesso em: 10 jun. de 2025

Na figura 22 percebe-se que a energia de ligação do elétron depende do r (distância de elétron ao núcleo) ou seja, quando r for muito pequeno o elétron estará muito ligado ao núcleo e para esse fato a M.Q nos diz que o elétron está confinado no poço de potencial e não pode se movimentar para qualquer posição pois as energias que os elétrons podem ter são discretas ou também chamadas de estado de energias e cada um desses estados representa um tamanho espacial de distribuição espacial de energia. Então, por esse motivo a M.Q descreve os elétrons através de uma onda que precisa ser acomodada nesses estados quânticos é por esse aspecto que apenas algumas ondas de matéria podem ser acomodadas nesses estados. Portanto, essas energias discretas dão origem aos espectros de energias.

Por outro lado, se olharmos a distribuição dos elétrons nessa nuvem eletrônica (ver Fig. 12), podemos perceber algumas configurações desses orbitais atômicos, que depende do tipo de onda que encaixa dentro do confinamento imposto pelo potencial de Coulomb que atrai o elétron (orbitais atômicos).

5 METODOLOGIA

Esta seção detalha os procedimentos, delineamento, participantes, instrumentos de coleta e análise de dados utilizados para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação.

A pesquisa adotou uma abordagem **qualitativa**, com delineamento **exploratório e descritivo** (Creswell, 2010). Essa escolha metodológica visa investigar a efetividade de uma sequência didática no processo de aprendizagem significativa dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia, buscando compreender as transformações na estrutura cognitiva dos estudantes e avaliar a eficácia da intervenção pedagógica.

Adotou-se a **abordagem qualitativa**, para que pudéssemos analisar a efetividade da sequência didática na reconstrução de subsunçores e na apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia. Além disso, a pesquisa se concentra na compreensão aprofundada dos fenômenos observados e nas transformações qualitativas na aprendizagem dos alunos. Portanto, a ênfase é na interpretação das respostas dos alunos e nas observações do processo, sem a realização de inferências estatísticas formais (Lakatos; Marconi, 2010).

O público-alvo desta pesquisa foram alunos do 3º ano do Ensino Médio. **O Local da pesquisa** foi a Escola Estadual Alice Salerno Gomes de Lima, escola da rede pública de ensino do Estado do Amazonas, localizada na cidade de Manaus. O critério de seleção do público-alvo foi a assiduidade da turma. Participaram dessa pesquisa 25 alunos.

Os instrumentos de coleta de dados foram dois testes conceituais de aprendizagem:

a) **Pré-teste:** composto por 10 itens discursivos: dois sobre a Lei de Wien; dois sobre as cores dos corpos (os fenômenos da reflexão e absorção); um sobre os principais modelos atômicos (Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr) e; dois sobre a espectroscopia, anexo A.

b) **Pós-teste:** dois sobre a Lei de Wien; dois sobre as cores dos corpos (os fenômenos da reflexão e absorção); um sobre os principais modelos atômicos (Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr) e; dois sobre a espectroscopia, anexo B.

Os procedimentos para a coleta de dados foram divididos em duas etapas, conforme os objetivos específicos da dissertação:

c) **Diagnóstico do conhecimento prévio:** Aplicação de um teste conceitual discursivo para identificar o conhecimento prévio dos alunos e a presença de subsunçores relacionados aos conceitos de espectroscopia e modelos atômicos.

d) **Elaboração e aplicação da sequência didática:** A partir das evidências coletadas elaborou-se uma sequência didática (SD) que se utilizou do experimento de espectroscopia óptica de baixo custo e os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa, composta de 5 aulas de duração de 48 minutos, sendo uma aula destinada a aplicação do pré-teste, três para a intervenção metodológica propriamente dita e uma para a aplicação do pós-teste.

e) **Coleta de dados durante a intervenção:** Durante a aplicação da sequência didática, serão realizados os registros de observação para acompanhar o processo de aprendizagem dos alunos.

f) **Avaliação da efetividade:** Após a aplicação da sequência didática, será realizado um pós-teste, também conceitual e discursivo, para avaliar a efetividade da intervenção na reconstrução de subsunçores e na apropriação significativa dos conceitos.

A análise dos dados será **qualitativa**, com foco na interpretação e compreensão dos dados coletados. Serão empregadas as seguintes abordagens:

a) **Análise de conteúdo das respostas dos testes pré e pós-intervenção:** As respostas discursivas dos alunos serão analisadas para identificar a evolução na compreensão dos conceitos, a reconstrução de novas relações e a superação de concepções prévias. Será verificada a presença de subsunçores e como eles são articulados pelos alunos.

Nesta fase utilizaremos as três etapas da Análise de Conteúdo de acordo com Santos (2012) *apud* Bardin (2011).

— **Pré-análise:** nessa fase realizamos a leitura fluente do material do coletado afim de nos familiarizarmos com os dados;

— **Exploração do material didático:** esta fase consiste em delimitarmos as categorias de análise e organizarmos os dados coletados.

— **Tratamento dos resultados:** que consiste em interpretar os resultados.

b) **Análise das observações em sala de aula:** Os registros de observação serão analisados para identificar padrões de comportamento, interação e engajamento dos alunos com a proposta didática, bem como para contextualizar as respostas obtidas nos testes.

c) **Comparação entre os resultados pré e pós-intervenção:** Embora a abordagem seja qualitativa, a comparação entre os resultados dos testes pré e pós-intervenção fornecerá indícios da efetividade da sequência didática em promover a aprendizagem significativa.

A pesquisa seguiu os princípios éticos aplicáveis a estudos envolvendo seres humanos. Foi obtido o **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)** dos participantes (alunos maiores de idade) ou o **Termo de Assentimento (TALE)** dos menores de idade, juntamente com o TCLE dos pais ou responsáveis e a **carta de anuência** do estabelecimento de ensino, onde realizamos a coleta de dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta e discute os resultados da aplicação da Aprendizagem Significativa no ensino de conceitos físicos de espectroscopia óptica e modelos atômicos. A análise dos dados se concentrou em três categorias principais: evidências robustas de aprendizagem significativa, evidências parciais de aprendizagem significativa e ausência de conexão significativa ou não resposta. Para contextualizar a pesquisa, o cenário de aplicação e os participantes são detalhados a seguir, antes da apresentação pormenorizada dos achados.

Os resultados apresentados neste trabalho derivam da implementação de uma Sequência Didática (SD) com 25 alunos da 3ª série do ensino médio regular, com idades entre 17 e 20 anos. Esses participantes foram selecionados pelo alto índice de frequência, que, notavelmente, aumentou durante a implementação da SD, indicando um provável engajamento.

A aplicação ocorreu na Escola Estadual Alice Salerno Gomes de Lima, localizada em Manaus-AM, que integra a rede estadual de ensino público do Amazonas (SEDUC-AM). A intervenção didática foi realizada no turno matutino, entre os dias 09 de outubro e 13 de novembro de 2024, com a devida anuência da instituição. A escola oferece Ensino Médio regular em dois turnos, com atividades de segunda a sexta-feira, em cinco aulas diárias de 48 minutos.

O presente trabalho tem por finalidade responder o seguinte problema de pesquisa: Qual a efetividade de uma sequência didática, pautada na Aprendizagem Significativa, utilizando o experimento de espectroscopia óptica de baixo custo, na reconstrução de subsunçores e na apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia em alunos do 3º ano do Ensino Médio?

Tendo como método de análise dos dados a Análise de Conteúdo, conforme a proposta de Santos (2012) apud Bardin (2011). Nas próximas seções detalharemos a exploração do material e o tratamento dos resultados.

6.1 EXPLORAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO

Nesta subseção apresentaremos os resultados de maneira estruturada e organizada os dados coletados para que subsidiem o tratamento dos resultados.

A unidade de análise dos resultados e discussões será as respostas dos alunos ao pré e pós-teste. Para aprofundar a análise dos dados, foram definidas três categorias de análises e definimos seus respectivos critérios de inclusão, conforme o quadro 1.

Quadro 1 - Quadro descritivo das categorias de análise.

NOME DA CATEGORIA	DESCRIÇÃO DA CATEGORIA	INDICADORES DA CATEGORIA
Categoria 1: Evidência Robusta de Aprendizagem Significativa	O argumento do discente demonstra uma conexão clara e precisa entre os novos conceitos sobre linhas espectrais e os subsunçores relevantes. Há evidências de assimilação significativa, onde o novo conhecimento é incorporado à estrutura cognitiva de forma não arbitrária e substantiva.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilização correta de conceitos prévios (subsunçores) para explicar fenômenos relacionados às linhas espectrais. ✓ Demonstração de compreensão das relações entre diferentes conceitos (por exemplo, energia, níveis eletrônicos, fótons, comprimentos de onda). ✓ Capacidade de aplicar os conceitos aprendidos em novos contextos ou para resolver problemas relacionados. ✓ Ausência de contradições significativas com os conceitos científicos estabelecidos. ✓ Elaboração de explicações que vão além da mera repetição de informações.
Evidência Parcial de Aprendizagem Significativa	O argumento do discente apresenta alguma conexão com os subsunçores relevantes, mas essa conexão pode ser superficial, incompleta ou com algumas imprecisões. Pode haver uma compreensão inicial, mas a assimilação significativa ainda não está totalmente consolidada.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menção a subsunçores relevantes, mas sem uma elaboração completa ou conexão clara com os novos conceitos. ✓ Presença de algumas ideias corretas, mas misturadas com equívocos ou simplificações excessivas. ✓ Dificuldade em aplicar os conceitos em novos contextos ou para resolver problemas. ✓ Possíveis inconsistências ou contradições parciais com os conceitos científicos estabelecidos. ✓ Respostas que demonstram uma compreensão fragmentada do conteúdo.
Ausência de Conexão Significativa ou Não Resposta	O item não apresenta resposta, ou a resposta fornecida não demonstra nenhuma conexão relevante ou correta com os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa do conteúdo sobre linhas espectrais. Isso inclui tanto a falta de tentativa de resposta quanto respostas que revelam um completo desconhecimento ou aplicação equivocada dos conceitos prévios relevantes.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Item em branco ou não respondido. ✓ Resposta completamente fora do tópico ou sem relação discernível com o conteúdo de linhas espectrais. ✓ Menção a conceitos prévios irrelevantes ou aplicados de forma totalmente inadequada. ✓ Presença de erros conceituais tão significativos que indicam uma ausência de ancoragem nos subsunçores necessários. ✓ Respostas que demonstram total desconhecimento dos conceitos envolvidos.

Fonte: Autoria própria (2025).

As respostas dos alunos foram organizadas e classificadas conforme as categorias 1, 2 e 3. A categorização do **pré-teste** é apresentada nas tabelas 1, 2 e 3. Já para o **pós-teste**, a classificação dos itens por categoria é detalhada nas tabelas 4, 5 e 6. A pontuação atribuída para cada etapa considerou critérios distintos: no **pré-teste**, os itens em conformidade com a categoria 1 receberam 1 ponto; as da categoria 2, 0,5 ponto; e as da categoria 3, 0 ponto. No **pós-teste**, foi atribuído 1 ponto para os itens corretas e 0 ponto para as incorretas. As notas consolidadas de ambos os testes são exibidas nas Tabelas W e T, respectivamente. Por fim, apresentamos o percentual de alunos em relação a cada item do pós-teste.

Tabela 1 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 1.

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE NA PESQUISA	CATEGORIA 1: EVIDÊNCIA ROBUSTA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA										NOTA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2				X							1,00
9											0,00
10		X	X	X							3,00
12				X							1,00
13				X							1,00
15				X							1,00
16											0,00
17				X	X						2,00
18											0,00
19											0,00
20											0,00
21											0,00
22				X							1,00
23		X									1,00
25				X		X					2,00
27											0,00
29											0,00
33											0,00
34		X	X	X							3,00
35											0,00
36											0,00
40			X	X	X		X	X			5,00
41			X	X							2,00
45											0,00
52											0,00

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 2 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 2.

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE NA PESQUISA	CATEGORIA 2: EVIDÊNCIA PARCIAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA										NOTA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	X				X	X			X	X	2,50
9											0,00
10	X										0,50
12		X	X							X	1,50
13			X						X		1,00
15											0,00
16				X							0,50
17	X		X								1,00
18	X		X								1,00
19			X	X							1,00
20											0,00
21			X	X					X		1,50
22											0,00
23			X	X					X		1,50
25									X		0,50
27											0,00
29							X				0,50
33							X				0,50
34											0,00
35		X		X							1,00
36	X										0,50
40	X	X							X		1,50
41						X					0,50
45			X								0,50
52				X							0,50

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 3 - Alunos que responderam aos itens do pré-teste em conformidade com a categoria 3.

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE NA PESQUISA	CATEGORIA 3: AUSÊNCIA DE CONEXÃO SIGNIFICATIVA OU NÃO RESPOSTA										NOTA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2		X	X				X	X			0,00
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,00
10					X	X	X	X	X	X	0,00
12	X				X	X	X	X	X		0,00
13	X	X			X	X	X	X		X	0,00
15	X	X	X		X	X	X	X	X	X	0,00
16	X	X	X		X	X	X	X	X	X	0,00
17		X				X	X	X	X	X	0,00
18		X		X	X	X	X	X	X	X	0,00
19	X	X			X	X	X	X	X	X	0,00
20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,00
21	X	X			X	X	X	X		X	0,00
22	X	X	X		X	X	X	X	X	X	0,00
23	X				X	X	X	X		X	0,00
25	X	X	X		X		X	X		X	0,00
27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,00
29	X	X	X	X	X	X		X	X	X	0,00
33	X	X	X	X	X	X		X	X	X	0,00
34	X				X	X	X	X	X	X	0,00
35	X		X		X	X	X	X	X	X	0,00
36		X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,00
40						X		X		X	0,00
41	X	X			X		X	X	X	X	0,00
45	X	X		X	X	X	X	X	X	X	0,00
52	X	X	X		X	X	X	X	X	X	0,00

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 4 - Desempenho dos alunos aos itens do pré-teste em conformidade com as categorias.

CATEGORIAS	PERCENTUAL DE RESPOSTAS POR CATEGORIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CATEGÓRIA 1	0,00%	12,00%	16,00%	44,00%	8,00%	4,00%	4,00%	4,00%	0,00%	0,00%
CATEGÓRIA 2	24,00%	12,00%	32,00%	24,00%	4,00%	8,00%	8,00%	24,00%	24,00%	8,00%
CATEGÓRIA 3	76,00%	76,00%	52,00%	88,00%	88,00%	88,00%	88,00%	76,00%	76,00%	92,00%

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 5 – Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 1.

ALTERNATIVAS	CATEGORIA 1: EVIDÊNCIA ROBUSTA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	X									
B		X		X	X		X	X	X	
C			X			X				X
D										
E										

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 6 - Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 2.

ALTERNATIVAS	CATEGORIA 2: EVIDÊNCIA PARCIAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A				X						X
B			X							
C		X			X			X		
D							X			
E	X					X			X	

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 7 - Alternativas do pós-teste em conformidade com a categoria 3.

ALTERNATIVAS	CATEGORIA 3: AUSÊNCIA DE CONEXÃO SIGNIFICATIVA OU NÃO RESPOSTA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A		X	X		X	X	X	X	X	
B	X					X				X
C	X			X			X		X	
D	X	X	X	X	X	X		X	X	X
E		X	X	X	X		X	X		X

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 8 – Desempenho dos alunos aos itens do pós-teste em conformidade com as categorias.

CATEGORIAS	PERCENTUAL DE RESPOSTAS POR CATEGORIA									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CATEGORIA 1	84,00%	80,00%	96,00%	80,00%	52,00%	68,00%	48,00%	68,00%	72,00%	84,00%
CATEGORIA 2	0,00%	8,00%	4,00%	20,00%	4,00%	0,00%	20,00%	4,00%	4,00%	16,00%
CATEGORIA 3	16,00%	12,00%	0,00%	0,00%	44,00%	32,00%	32,00%	28,00%	24,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 9 – Alternativas assinaladas pelos alunos em cada item no pós-teste.

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE NA PESQUISA	DESEMPENHO DOS PARTICIPANTES NO PÓS-TESTE NA CATEGORIA PRESENÇA DE SUBSUNÇORES										NOTAS NO PRÉ-TESTE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	a	a	c	b	a	c	b	b	b	c	8
9	a	b	c	b	a	c	b	b	a	c	8
10	a	b	c	b	a	c	a	b	a	c	7
12	a	b	c	b	b	a	a	b	b	c	8
13	b	b	c	b	b	c	d	b	b	c	8
15	a	c	b	a	b	a	b	b	b	a	5
16	a	a	c	b	b	c	b	b	a	c	8
17	a	b	c	b	a	c	b	b	b	c	9
18	a	b	c	b	c	b	b	b	c	c	7
19	a	c	c	b	a	c	b	d	b	c	7
20	a	b	c	b	b	b	b	b	b	c	9
21	a	b	c	b	b	c	d	d	b	c	8
22	c	b	c	b	a	c	a	b	c	a	5
23	a	b	c	a	b	c	c	a	b	c	7
25	b	b	c	a	e	c	e	b	b	c	6
27	a	b	c	a	b	c	a	b	b	c	8
29	a	b	c	b	b	b	a	b	b	c	8
33	a	b	c	b	b	c	d	b	b	c	9
34	a	a	c	b	a	c	b	c	b	c	7
35	b	b	c	a	b	c	d	d	b	c	6
36	a	b	c	b	a	c	d	d	e	a	5
40	a	b	c	b	b	b	b	d	b	c	8
41	a	b	c	b	b	c	a	b	b	a	8
45	a	b	c	b	a	b	b	d	b	c	7
52	a	b	c	b	a	a	b	b	d	c	7

Fonte: Autoria própria (2025).

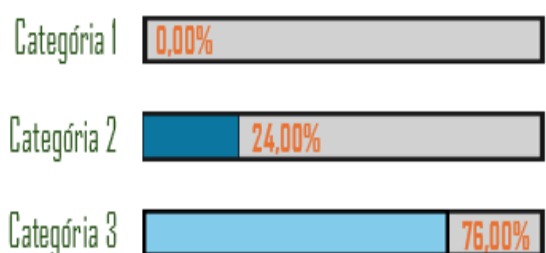
6.2 TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise dos resultados obtidos, seguindo a lógica dos objetivos específicos de pesquisa:

- b) Diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos e a presença de subsunçores relevantes para a apropriação dos conceitos de natureza da luz, reflexão, absorção, Lei de Wien, estrutura da matéria, modelos atômicos e linhas espectrais, por meio de um teste conceitual discursivo;
- c) Aplicar a sequência didática desenvolvida, com o suporte do experimento de espectroscopia óptica, visando a reconstrução de subsunçores e a apropriação significativa dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia pelos alunos e;
- d) Avaliar a efetividade da sequência didática e do experimento de espectroscopia óptica na reconstrução de subsunçores e na apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia, com base na análise dos resultados do pós-teste.

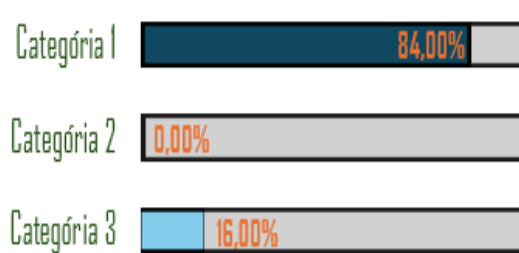
O item 1 do pré e pós-teste possuíam como objeto de conteúdo a Lei de Wien. Os resultados dos alunos no item 1 do pré e do pós-teste está apresentada no gráfico 1 e 2.

Gráfico 1 – Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 1 do pré-teste



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 2 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 1 do pós-teste

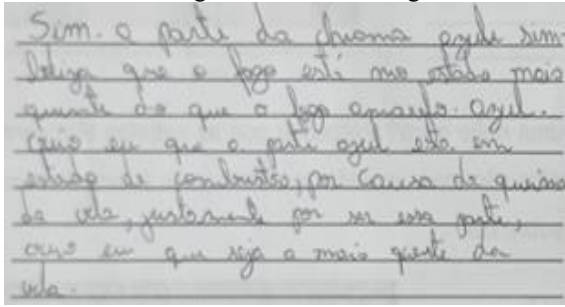


Fonte: Autoria própria (2025).

O gráfico 1 evidencia:

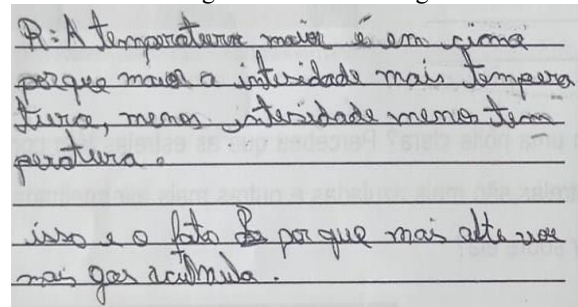
- a) Por meio da categoria 1, que não encontramos evidências da existência de subsunçores nos alunos.
- b) Por meio da categoria 2, que 24% deles possuíam conhecimentos prévios em relação aos conteúdos e dificuldade em aplicar os conceitos em novos contextos ou para resolver problemas o que consideramos como evidencia parcial da existência de subsunçores. Este fato pode ser constatado nas imagens 1 e 2.

Imagem 1 – Resposta do aluno 17 ao item 1 do pré-teste categorizada como categoria 2.



Fonte: Participante 17 (2024).

Imagem 2 - Resposta do aluno 16 ao item 1 do pré-teste categorizada como categoria 3.



Fonte: Participante 16 (2024).

A resposta do aluno evidencia que há existência de conhecimentos prévios. Todavia, apesar do aluno relacione a cor azul à maior temperatura, não explica por que a parte azul é mais quente e a linguagem utilizada ("Sim. a parte da chama azul que o fogo está no estado mais quente do que o fogo amarelo") carece de termos técnicos precisos.

As dificuldades constatadas no pré-teste guiaram a estratégia de ensino para a Lei de Wien, que foi abordada visando a diferenciação progressiva, utilizando-se tanto a apresentação mecânica quanto por descoberta e recepção, com o auxílio de simuladores, conforme proposto por Santana e Santos (2017).

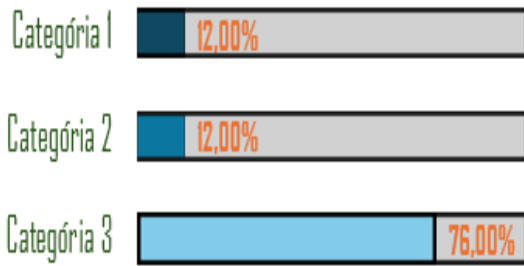
Esses conhecimentos prévios e a forma como eles se organizam são elementos que permitem perceber o desenvolvimento de subsunçores relacionados a Lei de Wien.

Ao analisarmos o gráfico 2, podemos constatar que a intervenção pedagógica foi eficaz, pois no pós-teste 84% dos alunos apresentaram indícios da existência de subsunçores, isto é, entenderam que: quanto menor o comprimento de onda, maior a temperatura; a luz azul tem comprimento de onda menor que a luz vermelha; a parte azulada da chama está mais quente do que a parte avermelhada.

Apenas 16% dos alunos não demonstraram compreensão adequada da lei de Wien e de como os conceitos de energia, temperatura e comprimento de onda ou frequência se relacionam. Esses 16% foram atraídos pelos distratores b) e c), indicando uma compreensão inversa ou a ignorância da Lei de Wien e do princípio da relação entre a cor da luz emitida e a temperatura de um corpo incandescente.

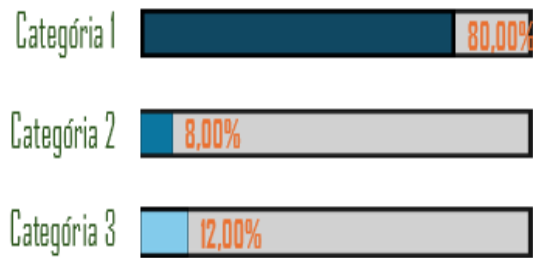
A fim de termos mais precisão sobre a existência ou não dos indícios sobre os conhecimentos prévios e os subsunçores relacionados a Lei de Wien, a item 2 do pré e pós-teste também tinham como objeto de conteúdo a Lei de Wien. O desempenho em relação as categorias de análise dos alunos no pré e no pós-teste são apresentados no gráfico 3 e 4.

Gráfico 3 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 2 do pré-teste.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 4 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 2 do pós-teste.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na análise do item 1 percebemos que 24% dos alunos possuíam os conhecimentos prévios necessários para o desenvolvimento dos subsunçores e concluímos que parte deles apresentavam dificuldades de aplicar esses conhecimentos, ou seja, de organizá-los de maneira lógica e coerente. Essa percepção se torna mais evidente ao analisarmos as respostas dos alunos, imagem 3 e 4.

Imagem 3 – Resposta do aluno 17 ao item 2 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Rotundamente se sabe que o tamanho da estrela influencia na quantidade de luz que ela emite. Na verdade, quanto maior a estrela, mais luz ela emite. Isso acontece porque as estrelas maiores costumam ser mais brilhantes, não isso. Estrelas por exemplo comparada a outras estrelas e são pequenas, sendo chamada de "Corã Amarela". Isso acontece porque as estrelas maiores têm sua luz mais amarelada.

Fonte: Participante 35 (2025).

Imagem 4 – Resposta do aluno 17 ao item 2 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Acho que sim. Sim. Depende do que ela está queimando, por exemplo: antes de uma estrela chegar a queimar o ferro ela irá fazer uma gigante vermelha exatamente antes de acontecer com o nosso sol. Acho que tudo, pode dizer quanto tempo de vida de um, quais elementos ele já queimou etc.

Fonte: Participante 12 (2025).

Em termos mais simples, objetos mais quentes emitem luz em comprimentos de onda mais curtos (mais próximos do azul/violeta). As respostas, imagem 3 e 4 conectam fenômenos observáveis (a cor da estrela) a processos físicos ou características subjacentes. Os alunos entendem que a cor não é arbitrária, mas está ligada a algo interno à estrela (tamanho, o que ela está "queimando", evolução) e aplicam conhecimento factual correto, a associação de azul com maior/mais quente e vermelho com menor/mais frio (implicitamente), o Sol como uma anã amarela e o Sol se tornando uma gigante vermelha são todos conceitos astronômicos corretos. Além disso, há tentativas de causalidade, mesmo com imprecisões, os alunos tentam explicar *por que* as cores são diferentes, indo além da mera observação.

O gráfico 3, reforça essa percepção, pois 12% dos alunos apresentam evidências robusta de aprendizagem significativa e 12% apresentaram evidências parcial da existência de aprendizagem significativa ao resolverem o item 2 do pré-teste.

A análise do Gráfico 4 complementa os achados do Gráfico 2, revelando que 80% dos alunos demonstraram sólida aprendizagem significativa, compreendendo as relações entre temperatura, energia térmica, frequência e comprimento de onda. Contudo, uma parcela de 12% ainda ignorou a Lei de Wien.

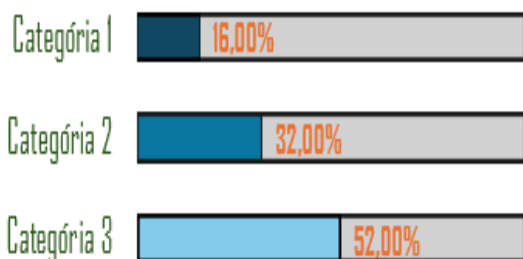
Para finalizarmos as discussões sobre a eficiência da sequência didática implementada para a aprendizagem da Lei de Wien e dos conceitos subjacentes determinaremos o ganho de aprendizagem dos alunos em relação ao seu estado cognitivo inicial por meio do ganho normalizado de Hake. Considerando a média entre os itens 1 e 2 dos testes, em relação ao desempenho na categoria 1

$$g_{lei\ de\ wien} = \frac{82\% - 6\%}{100\% - 6\%} \rightarrow g_{lei\ de\ wien} = 0,81$$

Sendo $g_{lei\ de\ wien}$ o ganho normalizado de aprendizagem, de acordo com normalização de Hake, os alunos tiveram um ganho alto de aprendizagem, o que aponta que a sequência didática foi muito eficaz para a promoção da aprendizagem significativa dos conteúdos acima destacados.

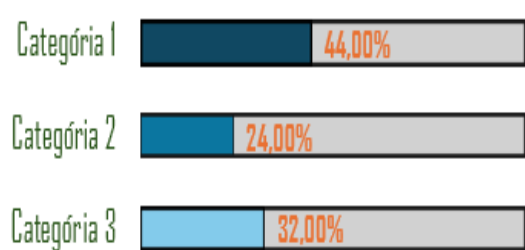
Os itens 3 e 4 do pré-teste e o item 3 do pós-teste tinham como objeto de conhecimento os conteúdos relacionados aos fenômenos da absorção e reflexão da luz que foram abordados pelo fenômeno da cor de um corpo, conteúdo mais abrangente que associa os dois fenômenos, conforme, orientado Ausubel. O desempenho dos alunos de acordo com as categorias de análise no pré-teste nos itens 3 e 4 são apresentados, respectivamente, nos gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 – Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 3 do pré-teste.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 6 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 4 do pré-teste.



Fonte: Autoria própria (2025).

A análise do gráfico 5 nos permite concluir que 48% dos alunos já possuíam conhecimento prévio sobre a natureza da luz e os fenômenos da absorção e da reflexão. 16% desses alunos apresentavam fortes evidências de aprendizagem significativa, isto é,

conseguiram organizar as conexões entre os conteúdos e desenvolver subsunçores. O gráfico 6 evidencia que 68% deles possuem conhecimento prévio e 44% apresentaram fortes indícios de aprendizagem significativa, conforme podemos ver nas imagens 3 e 4.

Imagem 5 - Resposta do aluno 41 ao item 3 do pré-teste categorizada como categoria 1.

Sim, acho que pelo filtro e molécula de cada uma, a luz do sol entra na atmosfera interage com o objeto em questão e reflete sua coloração.

Fonte: Participante 41 (2024).

Imagem 6 - Resposta do aluno 15 ao item 4 do pré-teste categorizada como categoria 2.

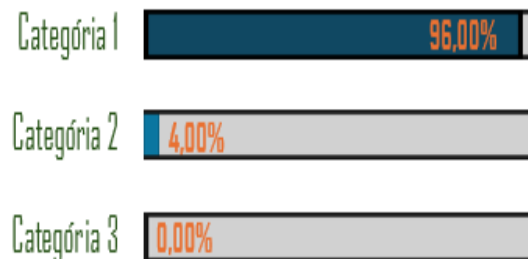
e porque as roupas escuras absorve color já as brancas não absorver e assim nasce o efeito fresco da roupa branca

Fonte: Participante 15 (2024).

As respostas confirmam que os alunos entendem como ocorrer o processo de formação das cores e o porquê as roupas esquentam ou dão uma sensação de frescor.

Após a aplicação da intervenção metodológica, o resultado do desempenho dos alunos por categoria esta evidenciado no gráfico 7.

Gráfico 7 - Respostas dos alunos distribuídas por categoria ao item 3 do pós-teste.



Fonte: Autoria própria (2025).

O Gráfico 7 demonstra que 96% dos alunos apresentaram fortes evidências de aprendizagem significativa, sendo capazes de identificar os distratores. As alternativas a) e b) representavam um erro fundamental de inversão dos conceitos de absorção e reflexão da luz por superfícies escuras e claras, enquanto as alternativas d) e e) indicavam uma falta total de compreensão sobre a natureza da cor e sua relação com a interação da luz com a matéria, que foram corretamente descartadas pelos alunos.

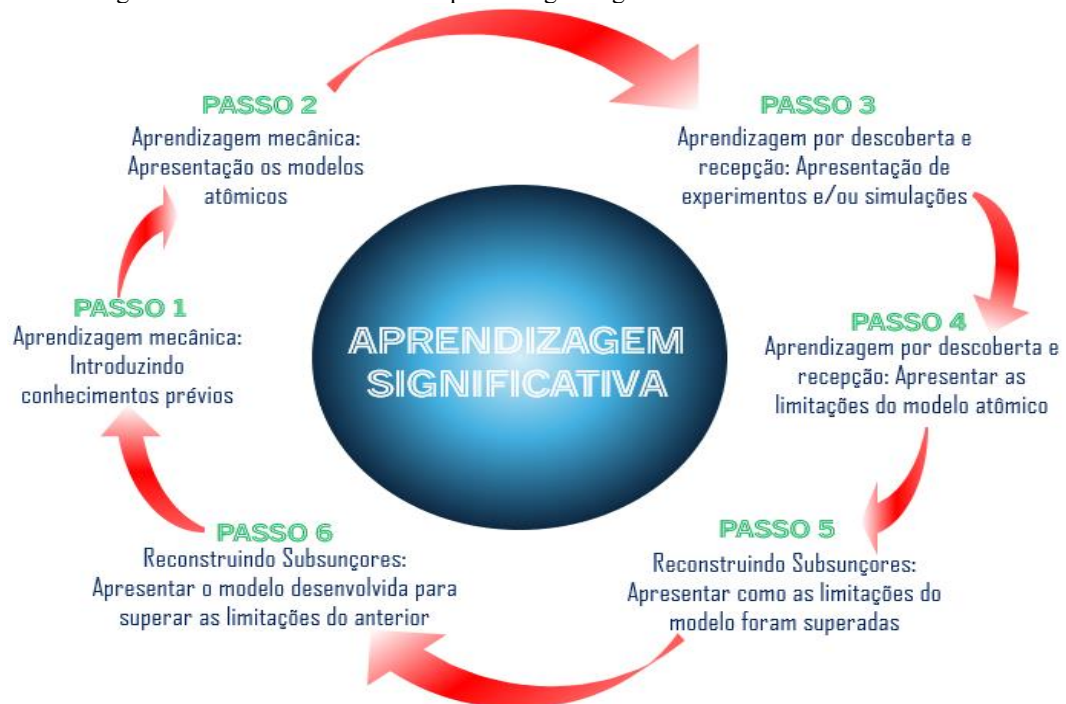
A fim de verificarmos o ganho normalizado de aprendizagem, usaremos o desempenho médio dos alunos nos itens 3 e 4 do pré-teste, na categoria 1, e o desempenho dos alunos no pós-teste, na categoria 1, no item 3 que verificou estes indícios, gráfico 7. Calculando o ganho normalizado de Hake:

$$g_{\text{cores dos corpos}} = \frac{96\% - 30\%}{100\% - 30\%} \rightarrow g_{\text{cores dos corpos}} = 0,94$$

A SD também se mostrou efetiva para a ocorrência da aprendizagem dos conceitos que envolvem as cores dos corpos, visto que, os alunos tiveram um alto ganho de aprendizagem.

A abordagem da sequência didática para modelos atômicos e espectroscopia foi estruturada conforme o Círculo Didático da Aprendizagem Significativa, onde cada modelo atômico (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e quântico) foi introduzido e desenvolvido em uma perspectiva de diferenciação progressiva, utilizando-se de apresentações mecânicas, descobertas com simulações, e recepção de conceitos, buscando a reconstrução de subsunçores. O modelo atômico precedeu a espectroscopia, considerando que esta técnica é fundamentalmente dependente da compreensão da estrutura atômica para sua apreensão significativa.

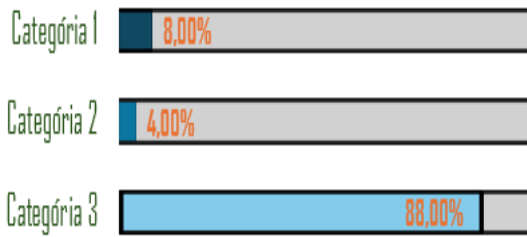
Figura 23 - Círculo didático da aprendizagem significativa dos modelos atômicos



Fonte: Autoria própria (2025).

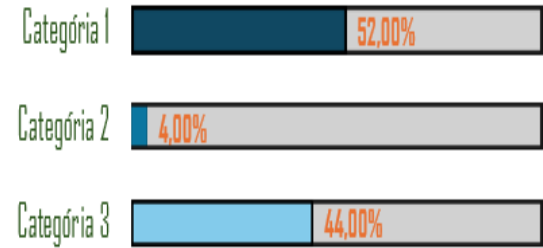
No pré e no pós-teste investigou-se a existência de indícios de conhecimentos prévios e subsunçores relacionados ao modelo atômico de Dalton por parte dos alunos, por meio do item 5. O desempenho dos alunos no item 5, no pré e pós-teste está descrito no gráfico 8 e 9, respectivamente:

Gráfico 8 - Respostas dos alunos ao item 5 do pré-teste distribuídas por categoria.



Fonte Autoria própria (2025).

Gráfico 9 - Respostas dos alunos ao item 5 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte Autoria própria (2025).

Apenas 12% dos alunos deram evidências de possuir conhecimentos prévios, imagem 7, sendo 8% deles com fortes evidências de apresentarem aprendizagem significativa, imagem 8.

Imagem 7 - Resposta do aluno 02 ao item 5 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Chegará uma hora que nossa visão não conseguirá ver pois está tão pequeno que a nossa visão não conseguirá ver

Fonte: Participante 02 (2024).

Imagem 8 - Resposta do aluno 40 ao item 5 do pré-teste categorizada como categoria 1.

Não não explica tudo, até porque o átomo também pode ser dividido, ficando as partículas menores que os átomos

Fonte: Participante 40 (2024).

Esta resposta, embora formulada de maneira simples, revela a existência de conhecimentos e, conseqüentemente, indícios parciais de aprendizagem significativa ao abordar a pergunta sobre o tamanho do átomo. O aluno demonstra uma compreensão intuitiva da **limitação da percepção humana** em relação à escala atômica. Ao afirmar que "chegará uma hora que nossa visão não conseguirá ver", o aluno reconhece que os átomos são entidades extremamente pequenas, inacessíveis à visão direta. Além disso, a repetição da ideia de que "está tão pequeno que a nossa visão não conseguirá ver" reforça a noção de que existe um limiar de tamanho abaixo do qual a percepção macroscópica se torna inviável. Embora não utilize terminologia científica formal ou explique a natureza do átomo em si, a resposta capta a **ideia fundamental da escala atômica** e a necessidade de ferramentas ou modelos que transcendam a observação direta para compreendê-los, indicando uma assimilação inicial e conceitual da pequenez do átomo, um pré-requisito para a compreensão de modelos atômicos mais complexos.

A imagem 8, revela evidências robustas de aprendizagem significativa uma vez que a resposta vai **além da memorização**, não é uma recitação mecânica dos postulados de Dalton. É uma *análise* de um postulado à luz do conhecimento científico mais atual. Demonstra

compreensão conceitual: o aluno compreende a mudança fundamental na teoria atômica de átomos indivisíveis para átomos divisíveis com componentes subatômicos. Por fim, a resposta demonstra a **capacidade de criticar e contextualizar:** pois identificar o que um modelo *não* explica e por que, demonstra uma compreensão contextual dos modelos científicos dentro da história mais ampla da ciência.

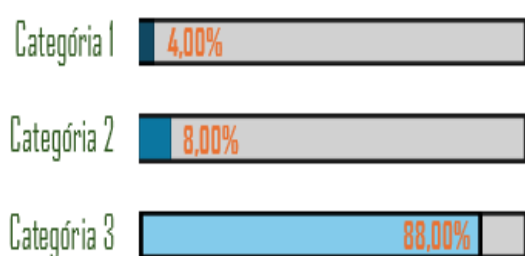
Após a intervenção pedagógica 52% dos alunos passaram a apresentar fortes evidências de aprendizagem significativa. O distrator mais atrativo aos alunos foi o item a), fato que mostra que os alunos confundiram os modelos de Dalton e Thompson. Uma justificativa para esse erro pode ocorrer porque eles aprendem sobre os modelos atômicos sequencialmente e podem confundir as características de modelos posteriores com os anteriores, especialmente se tiverem um conhecimento superficial. O conceito de núcleo e elétrons não existia no modelo de Dalton.

Pontuada as considerações pertinentes acerca do principal erro dos alunos ao responderem sobre o modelo de Dalton após a intervenção, percebe-se que eles tiveram ganho de aprendizagem médio de acordo com Ausubel.

$$g_{\text{átomo de Dalton}} = \frac{52\% - 8\%}{100\% - 8\%} \rightarrow g_{\text{átomo de Dalton}} = 0,47$$

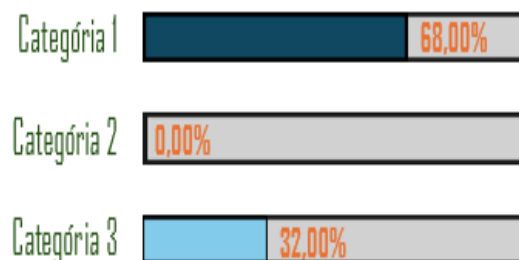
Em relação ao modelo de Thomson analisamos o desempenho dos alunos antes da intervenção e após a intervenção por meio do item 6 do pré e do pós-teste. O desempenho dos alunos por categorias está explicitado nos gráficos 10 e 11.

Gráfico 10 - Respostas dos alunos ao item 6 do pré-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

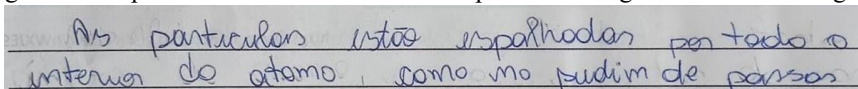
Gráfico 11 - Respostas dos alunos ao item 6 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte Autoria própria (2025).

O gráfico 10, destaca que apenas 12% dos alunos deram evidências de possuir conhecimentos prévios, sendo 4% deles com fortes evidências de aprendizagem significativa, como demonstra o gráfico 10 e mostram as imagens abaixo.

Imagem 9 - Resposta do aluno 25 ao item 6 do pré-teste categorizada como categoria 1.



As partículas estão espalhadas por todo o interior do átomo, como no pudim de passas

Fonte: Participante 25 (2024).

A resposta do aluno, demonstra evidências robustas de aprendizagem significativa sobre o Modelo Atômico de Thomson por várias razões:

a) Associação direta e correta com a analogia central: O fato de o aluno retomar e utilizar essa analogia de forma precisa ("como no pudim de passas") para descrever a distribuição das partículas negativas indica que ele compreendeu e internalizou o cerne visual e conceitual do modelo. Isso vai além de uma mera repetição da analogia fornecida na pergunta; é uma aplicação do conceito.

b) Compreensão da distribuição das cargas negativas: A diferença do modelo indivisível de Dalton para o de Thomson, era a proposição da existência de partículas subatômicas com carga negativa e como elas estavam distribuídas em uma "massa" positiva. A resposta "As partículas [negativas] estão espalhadas por todo o interior do átomo" capta perfeitamente essa característica: as cargas negativas não estão em um núcleo central ou em órbitas específicas, mas sim dispersas uniformemente dentro de uma esfera de carga positiva.

c) Identificação da Essência do Modelo: A simplicidade e a precisão da resposta mostram que o aluno conseguiu extrair a essência do Modelo de Thomson. Ele não se perde em detalhes desnecessários, mas vai direto ao ponto principal: a distribuição homogênea das cargas negativas dentro de uma massa atômica positiva (implícita na analogia do "pudim", que seria a parte positiva).

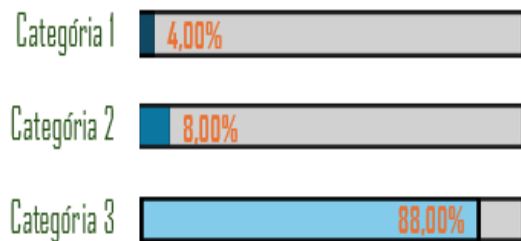
O gráfico 11, revela que após a intervenção pedagógica, 68% dos alunos passaram a apresentar fortes evidências de aprendizagem significativa. Todos os alunos descartaram a alternativa que descrevia o modelo de Bohr, entretanto confundiram-se novamente, principalmente, entre o modelo atômico de Thomson e Dalton, o que reforça a veracidade dos indícios evidenciados na análise do item 5, e entre os modelos de Thomson e Rutherford.

Apesar da confusão entre os modelos evidenciada por 32% dos alunos, houve um ganho de aprendizagem médio de acordo com Hake.

$$g_{\text{átomo de Thomson}} = \frac{68\% - 4\%}{100\% - 4\%} \rightarrow g_{\text{átomo de Thomson}} = 0,67$$

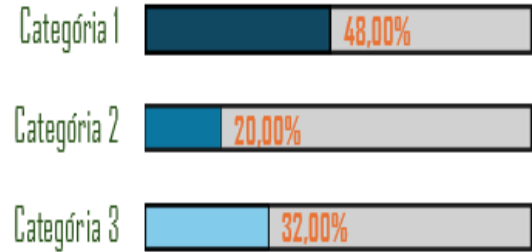
O item 7 do pré e do pós-teste nos deram indícios sobre a existência de conhecimentos prévios e ou subsunçores relacionados ao modelo atômico de Rutherford. As respostas dos alunos por categorias estão expressas nos gráficos 13 e 14.

Gráfico 12- Respostas dos alunos ao item 7 do pré-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 13 - Respostas dos alunos ao item 7 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

O gráfico 12, destaca que apenas 12% dos alunos deram evidências de possuir conhecimentos prévios, imagem X, sendo 4% deles com fortes evidências de aprendizagem significativa, imagem Y.

Imagem 10 - Resposta do aluno 40 ao item 7 do pré-teste categorizada como categoria 1.

Se porque os átomos se dividiram e há uma
uma linha que o átomo não podia ser
dividido tanto que "átomo" significa
"indivisível" mas através deste e de outros
experimentos descobriu-se que o átomo
é divisível.

Fonte: Participante 40 (2024).

Imagem 11 - Resposta do aluno 33 ao item 7 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Rutherford se impressionou porque notas partículas
que desviavam, desmentindo o modelo anterior
de Thomson.

Fonte: Participante 33 (2024).

A resposta do aluno, imagem 11, revela evidências parciais de aprendizagem significativa sobre o modelo de Rutherford ao identificar corretamente o **resultado crucial do experimento** ("partículas que desviavam") e a sua **consequência imediata** ("desmentindo o modelo atômico, de Thomson"). Esta conexão entre a observação experimental (desvio de partículas) e a necessidade de rever o modelo anterior (Thomson) demonstra que o aluno compreendeu a **natureza empírica da ciência** e o papel da experimentação na refutação de teorias. No entanto, a aprendizagem é parcial porque a resposta **não avança para descrever as características específicas do modelo de Rutherford** que explicariam esses desvios

De acordo com o gráfico 13, 48% dos alunos entenderam as características do modelo de Rutherford e a experiência que ele realizou para a elaboração da sua proposta de modelo

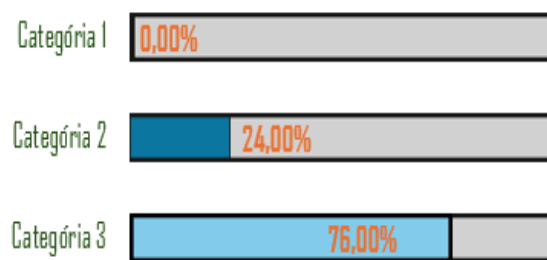
atômico, o que combinado a metodologia de ensino aplicada nos fornecem fortes evidências de que houve aprendizagem significativa. Entretanto, 24% dos alunos, que optaram pelo distrator da alternativa a), demonstraram não ter compreendido o modelo, pois essa afirmação inverte o principal resultado do experimento de Rutherford.

Todavia, a metodologia de ensino empregada se converteu em um ganho de aprendizagem médio.

$$g_{\text{átomo de Rutherford}} = \frac{48\% - 4\%}{100\% - 4\%} \rightarrow g_{\text{átomo de Rutherford}} = 0,46$$

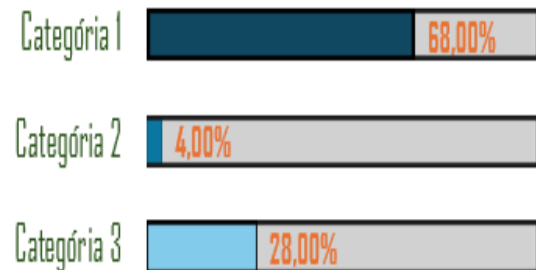
No item 8 do pré e do pós-teste averiguou-se a existência de conhecimentos prévios e subsunçores relacionados ao processo de ensino aprendizagem do modelo atômico de Bohr. O desempenho dos alunos por categorias no pré e no pós-teste estão dispostos, respectivamente, nos gráficos 14 e 15.

Gráfico 14 - Respostas dos alunos ao item 8 do pré-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 15 - Respostas dos alunos ao item 8 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com o gráfico 14, em relação ao átomo de Bohr nenhum dos alunos apresentaram indícios robustos de aprendizagem significativa.

No momento pós aula, após agirmos em conformidade com o círculo didático, considerando a diferenciação progressiva, os alunos apresentaram um ganho de aprendizagem médio, de acordo com a métrica de Hake, isto é:

$$g_{\text{átomo de Bohr}} = \frac{68\% - 0\%}{100\% - 0\%} \rightarrow g_{\text{átomo de Bohr}} = 0,68$$

De acordo com o gráfico 15, 68% dos alunos conseguiram perceber que **os elétrons não são empurrados para fora do átomo, resultando em uma explosão de cores. Entenderam que tal afirmação distorce o processo de emissão de luz no modelo de Bohr, pois, embora os elétrons se movam, eles não são "empurrados para fora do átomo" de forma a causar uma "explosão de cores" nesse contexto. A emissão de luz é um processo de transição de energia dentro do átomo, não de ejeção dos elétrons.**

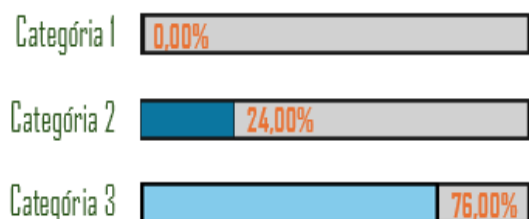
Os 68% dos alunos aprenderam **que a emissão de luz colorida ocorre quando os elétrons se movem de uma órbita de alta energia para uma órbita de baixa energia, liberando energia na forma de luz**. Esta é a explicação central do modelo atômico de Bohr para a emissão de luz e para os espectros de linhas. Quando os elétrons absorvem energia (por exemplo, calor dos fogos de artifício), eles saltam para níveis de energia mais altos (órbitas mais distantes do núcleo). Ao retornar aos níveis de energia mais baixos e estáveis, eles liberam essa energia na forma de fótons (luz), e a energia do fóton (e, portanto, a cor da luz) é específica para a diferença de energia entre os níveis.

Esses fatos nos sugerem indícios de que os alunos conseguiram entender o conteúdo e estruturá-lo de maneira lógica em suas estruturas cognitivas, o que é indício da existência de subsunções e forte evidências de aprendizagem significativa.

Por outro lado, 24% dos alunos não compreenderam que afirmar que **os elétrons não desempenham nenhum papel na cor e as cores vêm dos compostos químicos utilizados nos fogos**, está fundamentalmente incorreta e contradiz o que se sabe sobre a origem das cores em fogos de artifício. Embora os *compostos químicos* (sais metálicos, por exemplo) sejam usados, são os **elétrons desses elementos** (especificamente, as transições eletrônicas de seus átomos/íons) que são responsáveis pela emissão da luz colorida. Os alunos não perceberam que tal afirmação separar o papel dos elétrons da origem da cor, o que é um equívoco.

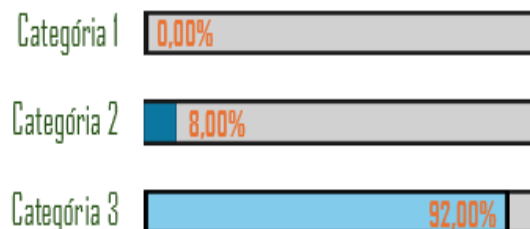
Por fim avaliamos por meio do item 9 e 10 do pré e do pós-teste a compreensão dos alunos a respeito da aprendizagem sobre as linhas espectrais.

Gráfico 16 - Respostas dos alunos ao item 9 do pré-teste distribuídas por categoria.



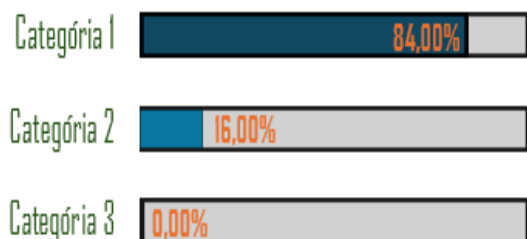
Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 17 - Respostas dos alunos ao item 10 do pré-teste distribuídas por categoria.



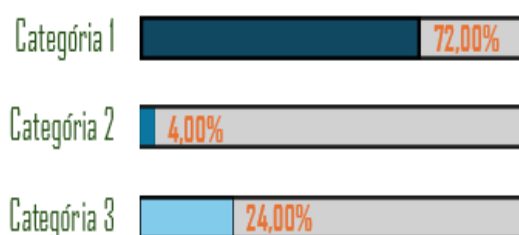
Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 18 - Respostas dos alunos ao item 9 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

Gráfico 19 - Respostas dos alunos ao item 10 do pós-teste distribuídas por categoria.



Fonte: Autoria própria (2025).

Analisando a resposta dos alunos ao item 9 e 10 do pré-teste, por meio dos gráficos 16 e 17, percebemos que não há evidências robustas da presença de subsunçores em nenhum deles, entretanto, em média 16% dos alunos demonstram evidências da existência de conhecimentos prévios, conforme as imagens abaixo.

Imagem 12 - Resposta do aluno 21 ao item 9 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Acredito que os níveis de energia afetam nas cores dos fogos. Dependendo onde ele "explode" a cor vem diferente.

Fonte: Participante 21 (2024).

Imagem 13 - Resposta do aluno 12 ao item 10 do pré-teste categorizada como categoria 2.

Sim, Porque cada elemento tem sua "Partícula única!"

Fonte: Participante 12 (2024).

A resposta do aluno 21, imagem 12, revela evidências parciais de aprendizagem significativa ao estabelecer uma **conexão correta entre "níveis de energia" e "cores dos fogos de artifício"**. Isso indica que o aluno compreendeu o **princípio fundamental da emissão de luz colorida** pelos elementos, que é a base da espectroscopia atômica e o mecanismo por trás das cores dos fogos de artifício. A frase "Dependendo onde ele 'explode' a cor vem diferente" (referindo-se ao "degrau" ou nível de energia em que o elétron "cai" ou de onde ele "salta" e libera energia) sugere uma intuição sobre a **quantização dos níveis de energia** e como diferentes transições eletrônicas resultam em diferentes comprimentos de onda de luz (cores). No entanto, a aprendizagem é parcial porque o termo "explode" é impreciso e a resposta **não**

articula a relação direta com a liberação de energia na forma de luz de frequências/cores específicas para cada transição ou elemento, que é o cerne da espectroscopia atômica. O aluno capta a correlação, mas não a explicação precisa do processo.

A resposta do aluno 12 ao item 10, imagem 13, demonstra por meio do uso da expressão "Partitura única" — que retoma a analogia apresentada na própria pergunta — que o aluno compreendeu o **princípio fundamental da identificação de elementos por espectroscopia: a singularidade do espectro de emissão (ou absorção) de cada elemento**. Isso indica que o aluno assimilou a ideia de que o espectro atômico funciona como uma "impressão digital" para os elementos, permitindo sua identificação. No entanto, a aprendizagem é considerada parcial porque a resposta **não aprofunda na explicação do fenômeno subjacente** (a transição de elétrons entre níveis de energia e a emissão/absorção de fótons de energias específicas) ou na **aplicação prática** de como essa "partitura única" é comparada para se chegar à identificação.

Entretanto, como evidenciado, na imagem 13, a resposta do aluno não aborda nenhum desses pontos, limitando-se a concordar com a analogia já fornecida na pergunta sem adicionar profundidade conceitual. Ele não explica *como* a "partitura única" é usada para a identificação, nem *o que* a torna única em termos de física atômica. Isso sugere uma repetição ou reconhecimento da analogia, mas não uma assimilação do conhecimento sobre o funcionamento e a aplicação da espectroscopia atômica.

Todavia, em conformidade com os gráficos 15 e 16, em média 84% dos alunos não tinham a compreensão mínima sobre a existência da temática. Isto é, não compreendiam que:

- a) Os elétrons nos átomos ocupam níveis de energia específicos. Indício analisado no item 9 do pré-teste.
- b) Quando um átomo absorve energia, seus elétrons podem ser excitados para níveis de energia mais altos. Indício analisado no item 9 do pré-teste.
- c) Ao retornar ao estado fundamental, os elétrons liberam a energia excedente na forma de luz. Indício analisado no item 9 do pré-teste.
- d) Cada elemento químico possui um espectro de emissão único, como uma "impressão digital". Indício analisado no item 10 do pré-teste.
- e) As linhas presentes no espectro correspondem às transições eletrônicas entre os níveis de energia dos átomos. Indício analisado no item 10 do pré-teste.
- f) Comparando o espectro de uma amostra desconhecida com os espectros de referência de elementos conhecidos, é possível identificar quais elementos estão presentes na amostra. Indício analisado no item 10 do pré-teste.

Em contraste, após a implementação da SD, de acordo com os gráficos 18 e 19 indicam que, em média 78% dos alunos apresentaram fortes evidências robustas de aprendizagem significativa, conseguindo perceber que:

a) Embora a temperatura possa afetar a intensidade das linhas espectrais (elementos mais quentes emitem mais luz), o papel principal das linhas espectrais não é indicar a temperatura da substância em si. O espectro de emissão é mais fundamentalmente ligado à estrutura eletrônica do átomo, não à sua energia cinética média (temperatura). Indício analisado no item 9 do pós-teste.

b) As linhas espectrais (de emissão ou absorção) estão relacionadas às **transições eletrônicas** no átomo, ou seja, à sua **eletrosfera**. Embora o núcleo determine a identidade do elemento, as linhas espectrais não fornecem informações diretas sobre a estabilidade ou instabilidade nuclear. Indício analisado no item 9 do pós-teste.

c) Átomos individuais são extremamente pequenos e não possuem uma "cor real" no sentido macroscópico. A cor que percebemos de uma amostra gasosa de um elemento quando excitada (por exemplo, em um tubo de descarga) é o *resultado* da combinação das diversas linhas espectrais emitidas. A linha espectral *em si* não indica a cor do átomo, mas sim a cor de um fóton específico liberado. Indício analisado no item 9 do pós-teste.

d) As linhas espectrais não são simplesmente criadas pela interação de elétrons com qualquer luz ambiente; elas são o resultado de transições de energia bem definidas dentro do átomo, independentemente da luz ambiente. A luz ambiente pode causar absorção, mas a emissão é intrínseca ao decaimento de um estado excitado. Indício analisado no item 10 do pós-teste.

e) As linhas espectrais são uma das evidências mais diretas e poderosas da **estrutura eletrônica atômica** e da quantização de energia. Embora as propriedades químicas dos elementos *resultem* de sua estrutura eletrônica (e, portanto, indiretamente das transições que geram as linhas espectrais), a causa direta das linhas espectrais é a estrutura atômica (especificamente a distribuição dos elétrons em níveis de energia), e não uma "propriedade química" genérica. Indício analisado no item 10 do pós-teste.

f) Colisões entre elétrons e/ou átomos podem, de fato, excitar elétrons para níveis de energia mais altos (como em um gás aquecido ou plasma). No entanto, as linhas espectrais em si não são criadas pela *colisão*. Elas são criadas pelo *decaimento* subsequente dos elétrons excitados para níveis de energia mais baixos, através da emissão de fótons. A colisão é um

mecanismo de excitação, não o mecanismo de geração das linhas espectrais. Indício analisado no item 10 do pós-teste.

A intervenção proposta, na perspectiva de Hake, forneceu um ganho de aprendizagem alto de:

$$g_{\text{linhas espectrais}} = \frac{78\% - 0\%}{100 - 0\%} \rightarrow g_{\text{linhas espectrais}} = 0,78$$

Até agora apontamos o ganho de aprendizagem relativo a cada um dos tópicos apresentados conforme a tabela abaixo:

Tabela 10 – Quadro sintético dos ganhos de aprendizagem por objeto de conhecimento.

OBJETO DE CONHECIMENTO	LEI DE WIEN	CORES DOS CORPOS	ÁTOMO DE DALTON	ÁTOMO DE THOMSON	ÁTOMO DE RUTHEFORD	ÁTOMO DE BOHR	LINHAS ESPECTRAIS
GANHO NORMALIZADO	0,81	0,94	0,47	0,67	0,46	0,68	0,78
TIPO DE GANHO	ALTO	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	ALTO

Fonte: Autoria própria (2025).

Mas, podemos verificar que o ganho de aprendizagem, decorrente da implementação da SD, é de acordo com Hake é de:

$$g_{SD} = \frac{73\% - 16\%}{100\% - 16\%} \rightarrow g_{SD} = 0,67$$

O que indica que a SD traz ganhos reais e efetivos de aprendizagem, sendo este um indicativo de uma boa prática a ser seguida.

7 CONCLUSÕES

Um ganho normalizado de 0,67 é significativamente maior do que o que é tipicamente observado em cursos que utilizam métodos de ensino **tradicionais** (aulas expositivas passivas) (Bata, 2024; Marinho, 2024). Portanto, surgem três conclusões ou aspectos fundamentais a serem destacados, que são típicos para esse tipo de desempenho:

1° **Engajamento interativo (IE - Interactive Engagement)**: aulas que envolvem os alunos e os conduzem a participação, fato promovido nas etapas de aprendizagem por descoberta (Moreira, 2004) tendem a apresentar ganhos normalizados mais elevados. Um valor de 0,67 sugere fortemente que a metodologia de ensino empregada está promovendo uma participação ativa dos alunos e o desenvolvimento da compreensão conceitual, em vez de apenas a memorização de fatos, o que na perspectiva de Ausubel, caracteriza uma aprendizagem significativa.

2° **Espaço para otimização e melhoria contínua**: Embora 0,67 seja um bom resultado, ele se encaixa na faixa de "ganho médio" de Hake, não atingindo o patamar de "Alto Ganho $\geq 0,7$ ". Isso indica que, ainda há margem para otimização de certos aspectos, dentre os quais poderíamos destacar:

- a) Refinamento do Material Didático: Há tópicos onde os alunos ainda demonstram lacunas conceituais significativas.
- b) Estratégias de Engajamento: Poderiam ser introduzidas novas atividades interativas ou o tempo dedicado a elas aumentado.
- c) Suporte ao Aluno: Há alunos com dificuldades específicas que poderiam se beneficiar de apoio adicional ou intervenções direcionadas.

3° **Validade e comparabilidade da medida**: O ganho normalizado de Hake é amplamente utilizado nas pesquisas em educação em ciências (especialmente em física) por sua capacidade de **comparar a efetividade do ensino** entre diferentes cursos e populações de alunos, mesmo com variações nos escores pré-teste. Isso se deve à sua normalização pela "margem de melhoria" de cada aluno ou turma.

Com um ganho normalizado de Hake de 0,67, este estudo demonstra a efetividade da sequência didática implementada na promoção da aprendizagem significativa. Este resultado, superior ao tipicamente observado em métodos tradicionais, válida a abordagem interativa empregada e serve como um sólido ponto de partida para futuras pesquisas e otimizações contínuas, visando aprimorar ainda mais a compreensão conceitual dos estudantes.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, R. M. R., Teoria da Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel. Tese de Doutorado, Campinas, 1976.
- ARRUDA, S.M., SILVA, M. R. & LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. *Investigações em ensino de ciência*, v. 6, n. 1, 2001.
- ARRUDA, S.M.; LABURU, C.E. Considerações sobre a função de experimento no ensino de Ciências. In: NARDI, Roberto (Org.). *Considerações atuais no ensino de Ciências*. São Paulo: Editora Escrituras, 1998.
- AUSUBEL, D. *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. New York: Grune & Stratton, 1963.
- AUSUBEL, D., NOVAK, J., & HANESIAN, H. *Educational Psychology: A Cognitive View (2nd Ed.)*. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1978.
- AXT, R. O papel da experimentação no ensino de ciências. In MOREIRA, M.A. & AXT, R. *Tópicos em ensino de ciências*, Sagra, 1991.
- BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- BORGES, A.T., O Papel do laboratório no ensino de Ciências. *Atas do I ENPEC. Águas de Lindóia S.P*, Novembro, 1997.
- BARBERÁ, O. & VALDÉS, P. El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 14, n.3, p. 365-379, 1996.
- COHEN, Bernard I.; SMITH, George E. (eds.) *The Cambridge companion to Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- FARIA, W. de. *Aprendizagem e planejamento de ensino*. São Paulo, Ática, 1989.
- FRAUNHOFER, J. On the Refractive and Dispersive Power of Different Species of Glass, in Reference to the Improvement of Achromatic Telescopes: With an Account of the Lines or Streaks which Cross the Spectrum. *The Edinburgh Philosophical Journal*, v. 9, p. 288-299, 1823.
- GALIAZZI, M.C. , ROCHA, J.M.B. , SCHMITZ, L.C. , SOUZA, M.L., GIESTA, S. &
- GONÇALVES, F.P. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001.
- GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola* n. 10.1999.

- GRIFFITHS, D. J. *Introdução à Eletrodinâmica*. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2013.
- H. Velten, Matéria escura e as estruturas cósmicas, *Cadernos de Astronomia* 2(1), 58 (2024).
- HACKING, I. Quepasalasciências naturais?.In, I Hacking, *La construcción social de qué?*. Barcelona, Es: PaidosIberica. 2001.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- HEARNshaw, J. B. *The analysis of starlight: two centuries of astronomical spectroscopy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- HODSON, D.A critical look at practical working school science. *School Science Review*, 70,1990.
- JACKSON, M. W. **Spectrum of Belief**: Joseph von Fraunhofer and the Craft of Precision Optics. Massachusetts: The MIT Press, 2000.
- K. S. Oliveira e M. F. O. Saraiva, *Astronomia e Astrofísica* (Editora Livraria de Física, São Paulo, 2017), 4ª ed.
- KIRCHHOFF, G. R. Fraunhofer'schen Linien. *Monatsberichte der Koniglich Preussischen Akademie des Wissenschaften zu Berlin*, p. 662-666, 1859a.
- KIRCHHOFF, G. R.; BUNSEN, R. *Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen*. *Annalen der Physik und Chemie*, v. 110, p. 161-189, 1860.
- LAGE, E. (2021). O corpo negro. *Revista de Ciência Elementar*, 8, 1-8. doi:10.24927/rce2021.027
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- LIBÂNEO, José Carlos. *Didática*. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2017.
- LUCHESE, T. C.; MERGEN, A.; ANDRIGHETTO, R. O pêndulo simples como mediador de conceitos e métodos no ensino de Física. *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, v. 6, n. 1, p.4891-4908 jan. 2020.
- MOREIRA, Décio. *Aprendizagem significativa: pesquisa, ensino e formação*. 2. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2019.
- MOREIRA, M. A. *Teoria da Aprendizagem Significativa: um referencial para a construção do conhecimento em sala de aula*. 2011.

MOREIRA, M. A., Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa, (Porto Alegre, Instituto de Física da UFRGS, 2009). Disponível em: . Acesso em: 12 Fev. 2024.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A., A Teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel, In: Masini, E. F. S. & Moreira, M. A., Aprendizagem Significativa: Condições de ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos, (Vetor, São Paulo, 2008).

P. Massey e M. M. Hanson, Astronomical Spectroscopy, in Planets, Stars and Stellar Systems, editado por T. D. Oswalt e H. E. Bond (Springer, Dordrecht, 2013), 35–98.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Os processos de ensino e aprendizagem. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIQUEIRA, Felipe Coelho. As equações de Maxwell e as ondas eletromagnéticas. **E-publica-Brazilian Journal of Development**, Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.9, p. 93571-93589 sep. 2021. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=as+equa%C3%A7%C3%B5es+de+maxwell&oq=as+equa%C3%A7%C3%B5es+de+maxwel. Acesso em: 13 de fevereiro de 24.

SOLOMON, J. The laboratory comes of age. In: Teaching Science, edited by Ralph Levison at The Open University, Routledge, London and New York, p. 7-21, 1994.

TARDIF, Maurice. Saberes docentes e formação profissional. 18. ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

The Principia: mathematical principles of natural philosophy. A new translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman. Berkeley: University of California Press, 1999.

VILLANI, A. e CARVALHO, L. O. Representações mentais e Experimentos Qualitativos. Rev. Bras. Ens. Fís.1993

APÊNDICE A: PRÉ-TESTE

AGRADECEMOS SUA PARTICIPAÇÃO NESTA PESQUISA ATÉ AQUI!

Apresentamos um pré-teste diagnóstico que aborda os conteúdos de espectroscopia óptica e modelos atômicos. Solicitamos sua participação nesta avaliação, a fim de identificar seu grau de compreensão inicial e orientar de forma mais precisa o desenvolvimento das próximas etapas do aprendizado.

Suas respostas são muito importantes para aprimorarmos nossas práticas de ensino.

INSTRUÇÕES

- 1 **Leia atentamente cada questão e responda da forma mais completa possível.**
- 2 **Utilize seu conhecimento sobre espectroscopia óptica e modelos atômicos para fundamentar suas respostas.**
- 3 **Não se preocupe se não souber todas as respostas. O objetivo deste teste é avaliar seu aprendizado geral acerca do tema proposto.**
- 4 **Você terá 30 minutos para concluir o teste.**

BOA SORTE! 🍀

Professor Pesquisador Responsável

Rafael Cardoso Cordeiro

Secretária de Educação do Estado do Amazonas

rafaelfisica22@gamil.com

Jose Ricardo de Sousa

Universidade Federal do Amazonas

jsousa@ufam.edu.br

1. A Lei de Wien relaciona a cor da luz emitida por um corpo com sua temperatura. Sabendo disso, o que podemos concluir sobre a variação de temperatura entre as partes azulada e avermelhada da chama de uma vela?



Fonte <https://images.app.goo.gl/t7Tfh8ULKeCaqk2u7>

2. Você já observou que as coisas têm cores diferentes? Por que uma maçã é vermelha, enquanto uma folha de papel é branca? O que acontece com a luz quando ela incide em um objeto colorido?



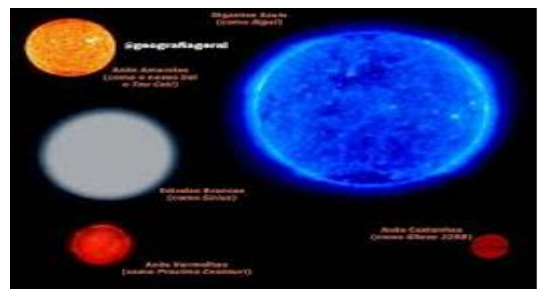
<https://www.bing.com/images/create/sol-iluminando-uma-mac3a7c3a32c-um-tecido-branco-e-um-obj/1->

3. Você já percebeu que em um dia quente, as roupas de cores escuras parecem mais quentes do que as claras? Por que será que isso acontece? O que a cor de uma roupa tem a ver com a sensação térmica?



<https://www.bing.com/images/create/pessoas-com-roupas-claras-e-escuras->

4. Você já observou o céu estrelado em uma noite clara? Percebeu que as estrelas têm cores diferentes? Por que será que algumas estrelas são mais azuladas e outras mais avermelhadas? O que a cor de uma estrela pode nos dizer sobre ela?



<https://images.app.goo.gl/XwEc4MUmXqbnvBuq8>

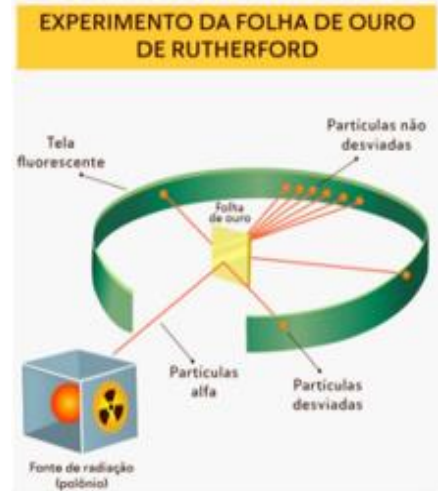
5. Suponha que você deseja saber do que somos feitos, qual a menor estrutura que compõe todas as coisas. Para isso, você decide quebrar um lápis em pedaços cada vez menores até que restes a menor estrutura que compõe todas as coisas. De acordo com Dalton, você não pode continuar quebrando esses pedaços infinitamente, ele acreditava que existia um limite para essa divisão, um pedaço tão pequeno que não poderia ser dividido. Ele denominou esse pedaço de átomo. No entanto a sua tentativa de explicar a origem de todas teve êxito, mas apresenta limitações. Quais são os êxitos e limitações?



<https://images.app.goo.gl/XwEc4MUmXqbnv8uq8>

6. A figura 6 apresenta um pudim de passas. Imagine que o átomo é como um pudim, mas em vez de passas, ele tem partículas com carga negativa. De acordo com o modelo de Thompson, como essas partículas negativas estão distribuídas dentro do átomo?

7. Imagine duas situações distintas, mas semelhantes. Na primeira você atira bolinhas de gude em uma parede. Na segunda atira em uma peneira. O resultado da colisão da bola de gude não seria o mesmo nos dois casos, caso o espaçamento da tela da peneira fosse larga, mas à medida que ele diminuísse o resultado seria o mesmo. Rutherford, realizou um experimento semelhante, mas em escala atômica. Ele "atirou" partículas em uma fina lâmina de ouro. Os resultados foram surpreendentes! Como esses resultados colaboraram para sua proposta de modelo atômico?



<https://images.app.goo.gl/PyRChMd5wEUGWnYT6>

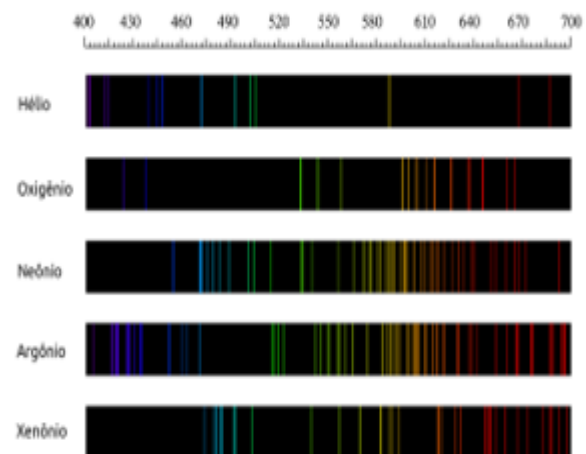
8. Imagine uma escada. Cada degrau representa um nível de energia potencial gravitacional diferente. Quando subimos um degrau, ganhamos essa energia, quando descemos, perdemos energia. Os elétrons nos átomos são como pessoas subindo e descendo essas escadas. Quando um elétron "sobe" para um nível de energia mais alto, ele absorve energia. E quando ele "desce", ele libera essa energia na forma de luz. Como essa ideia explica as diferentes cores que vemos nos fogos de artifício?

9. Imagine um prédio com andares bem definidos. O modelo de Bohr é como esse prédio, com os elétrons ocupando andares específicos (níveis de energia). Mas e se os elétrons não fossem tão "organizados" assim? E se eles pudessem estar em diferentes "quartos" dentro de cada andar? O modelo quântico nos ajuda a entender essa complexidade. Como os orbitais atômicos explicam essa ideia de "quartos" dentro do átomo?



<https://images.app.goo.gl/KjrW5XWhWXJE9Xux7>

10. Imagine que você está em um concerto e quer identificar os diferentes instrumentos musicais que estão sendo tocados. Cada instrumento produz um som único, certo? Da mesma forma, cada elemento químico produz um "som" único quando seus elétrons mudam de nível de energia. Como os espectros atômicos, que são como as "partituras" desses "sons", podem nos ajudar a identificar quais elementos estão presentes em uma amostra?



<https://images.app.goo.gl/9SnRz4RjkeADGxMx6>

APÊNDICE B: PÓS-TESTE

AGRADECEMOS SUA PARTICIPAÇÃO NESTA PESQUISA ATÉ AQUI!

Após a implementação de 5 aulas sobre a espectroscopia óptica e o modelo atômico, com base em seus conhecimentos adquiridos o convidamos a responder esse pós-teste para que possamos avaliar seu nível de aprendizagem e aprimorarmos o produto educacional que você ajudará a desenvolvermos.

Suas respostas são muito importantes para aprimorarmos nossas práticas de ensino.

INSTRUÇÕES

- 1 **Leia atentamente cada questão e responda da forma mais completa possível.**
- 2 **Utilize seu conhecimento sobre a espectroscopia e o modelo atômico para fundamentar suas respostas.**
- 3 **Não se preocupe se não souber todas as respostas. O objetivo deste teste é avaliar seu atual nível de conhecimento sobre o tema em estudo.**
- 4 **Esse teste é composto de 10 questões de múltipla escolha e cada questão contém apenas uma alternativa correta.**
- 5 **Você terá 30 minutos para concluir o teste.**

BOA SORTE! 😊

Professor Pesquisador Responsável
Rafael Cardos Cordeiro
Secretária de Educação do Estado do Amazonas
rafaelfisica22@gmail.com
Jose Ricardos de Sousa
Universidade Federal do Amazonas
jsousa@ifam.edu.br

CARTÃO-RESPOSTA MARQUE ASSIM: ●

Questão	A	B	C	D	E
01	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
02	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
03	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
04	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
05	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
06	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
07	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
08	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
09	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1. A Lei de Wien relaciona a cor da luz emitida por um corpo com sua temperatura. Sabendo disso, o que podemos concluir sobre a variação de temperatura entre as partes azulada e avermelhada da chama de uma vela?

- a) A parte azulada tem maior temperatura por emitir luz de menor comprimento de onda.
- b) A parte avermelhada tem maior temperatura porque emite luz de comprimento de onda maior.
- c) A parte azulada e a parte avermelhada têm a mesma temperatura, a cor não é um indicativo de calor.
- d) A cor da chama varia aleatoriamente, não estando relacionada à temperatura.
- e) A parte avermelhada é mais quente porque está mais distante do pavio e recebe mais calor.

2. Ao observar uma galáxia, notamos que suas estrelas podem ter diferentes cores, como azuladas e avermelhadas. O que a cor dessas estrelas pode nos dizer sobre elas?

- a) As estrelas azuladas de uma galáxia são mais frias, enquanto as avermelhadas são mais quentes.
- b) A cor das estrelas indica suas idades, com as azuladas sendo mais jovens e as avermelhadas mais velhas.
- c) A cor das estrelas reflete a distância delas dentro da galáxia, com as azuladas estando mais próximas do centro.
- d) As estrelas avermelhadas têm mais elementos pesados, enquanto as azuladas têm mais hidrogênio.
- e) A cor das estrelas em uma galáxia é determinada pelo movimento da galáxia, com as azuladas se movendo mais rápido.

3. Quando a luz atinge uma superfície, parte dela é absorvida e parte é refletida. Qual das alternativas abaixo descreve corretamente o comportamento de superfícies escuras e claras em relação à absorção e reflexão de luz?

- a) Superfícies escuras refletem mais luz do que superfícies claras.
- b) Superfícies claras absorvem mais luz, enquanto as escuras refletem mais.
- c) Superfícies escuras absorvem mais luz e refletem menos, enquanto superfícies claras refletem mais luz e absorvem menos.
- d) A cor da superfície não influencia a absorção ou reflexão de luz.
- e) Tanto superfícies escuras quanto claras absorvem e refletem a mesma quantidade de luz.

4. Na análise espectroscópica de amostras de sangue, as Leis de Kirchhoff são utilizadas para determinar a presença de determinadas substâncias. Qual das seguintes opções melhor descreve essa aplicação?

- a) As leis permitem prever a cor do sangue com base em sua temperatura.
- b) Elas possibilitam a quantificação de compostos químicos, como glicose e colesterol, pela medição da luz absorvida em comprimentos de onda específicos.
- c) As leis garantem que todos os tipos de sangue absorvem a mesma quantidade de luz.
- d) Elas são usadas apenas para estudar a radiação emitida por órgãos, não por fluidos.
- e) As leis indicam que a análise espectroscópica não pode ser aplicada em diagnósticos médicos.

5. O modelo atômico de Dalton, proposto no início do século XIX, trouxe importantes contribuições para a ciência. Qual das alternativas a seguir descreve corretamente uma das características do modelo de Dalton?

- a) O átomo é composto por um núcleo pequeno e denso, rodeado por elétrons.
- b) Os átomos de um mesmo elemento são idênticos em massa e propriedades.
- c) O átomo é divisível e contém partículas negativas chamadas elétrons.
- d) Os átomos são formados por prótons e nêutrons em seu núcleo.
- e) Os átomos de diferentes elementos têm a mesma massa, mas propriedades diferentes.

6. O modelo atômico de Thomson, também conhecido como "modelo do pudim de passas", foi uma evolução do modelo de Dalton. Qual das opções abaixo explica corretamente o modelo de Thomson?

- a) O átomo é uma esfera maciça e indivisível.
- b) O átomo é composto por um núcleo positivo, com elétrons orbitando ao redor.
- c) O átomo é uma esfera positiva com elétrons negativos distribuídos uniformemente em seu interior.
- d) O átomo contém um núcleo denso e elétrons em órbitas circulares fixas.
- e) O átomo é composto apenas por elétrons, sem presença de carga positiva.

7. No experimento de Rutherford, partículas alfas foram disparadas contra uma fina folha de ouro. Que conclusão fundamental sobre a estrutura atômica foi alcançada a partir desse experimento?

- a) A maior parte das partículas alfa foi refletida, mostrando que o átomo é maciço e compacto.
- b) A maior parte das partículas alfa atravessou a folha, sugerindo que o átomo é composto majoritariamente por espaço vazio.
- c) Todas as partículas alfas foram desviadas, provando que o núcleo do átomo é negativo.
- d) As partículas alfas foram capturadas pelo núcleo do átomo, demonstrando sua natureza positiva.
- e) O experimento provou que os elétrons estão concentrados no núcleo, enquanto prótons orbitam ao redor.

8. Em um espetáculo de fogos de artifício, diferentes elementos químicos são utilizados para produzir cores específicas. De acordo com o modelo de Bohr, qual é o papel dos elétrons na emissão dessas cores?

- a) Os elétrons são empurrados para fora do átomo, resultando em uma explosão de cores.
- b) A emissão de luz colorida ocorre quando os elétrons se movem de uma órbita de alta energia para uma órbita de baixa energia, liberando energia na forma de luz.
- c) As cores são formadas pela vibração dos elétrons, independentemente de suas órbitas.
- d) Os elétrons não desempenham nenhum papel na cor; as cores vêm dos compostos químicos utilizados nos fogos.
- e) A luz emitida pelos fogos de artifício não está relacionada à estrutura atômica dos elementos.

9. O modelo quântico do átomo explica a distribuição dos elétrons em níveis de energia específicos. Como essa distribuição está relacionada à formação das linhas espectrais?

- a) As linhas espectrais são criadas pela interação de elétrons em movimento com a luz ambiente.
- b) As linhas espectrais resultam da emissão ou absorção de fótons quando os elétrons transitam entre níveis de energia diferentes.
- c) As linhas espectrais são geradas apenas em átomos em movimento rápido, não influenciados por seus elétrons.
- d) As linhas espectrais não estão relacionadas à estrutura atômica, mas sim a propriedades químicas dos elementos.
- e) As linhas espectrais ocorrem devido à colisão entre elétrons de diferentes átomos.

10. Qual é o papel das linhas espectrais no espectro de emissão de um elemento no contexto do modelo atômico?

- a) Indicar a temperatura da substância.
- b) Mostrar a presença de elétrons estacionários no átomo.
- c) Representar a energia liberada ou absorvida quando os elétrons mudam de nível energético.
- d) Confirmar a estabilidade nuclear do elemento.
- e) Indicar a cor real dos átomos do elemento.

APÊNDICE C: CARTA DE ANUÊNCIA

CARTA DE ANUENCIA DO LOCAL DA COLETA DE DADOS E IMPLEMENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Manaus, 09 de outubro de 2024.

Prezado Rafael Cardoso Cordeiro, mestrando do Mestrado Profissional no Ensino de Física- MNPEF, polo 04, cediado pelo IFAM Campus Centro e UFAM campus Manaus.

Em atenção ao seu pedido de autorização para a coleta de dados e/ou implementação de um produto educacional, como parte da elaboração de sua dissertação de mestrado, vem por meio deste, declarar que tenho conhecimento e autorizo a realização da coleta de dados para o desenvolvimento do produto educacional e dissertação, para a realização das atividades descritas em seu plano de trabalho.

DETALHAMENTO DA PESQUISA

TÍTULO: Espectroscopia óptica: uma estratégia para uma aprendizagem significativa do modelo atômico no ensino médio.

OBJETIVO: Analisar a efetividade de uma sequência didática, fundamentada na Aprendizagem Significativa e utilizando o experimento de espectroscopia óptica de baixo custo, na formação de subsunçores e na apropriação dos conceitos de modelos atômicos e espectroscopia por alunos do 3º ano do Ensino Médio.

IMPLEMENTAÇÃO E DE COLETA DE DADOS: As aulas serão ministradas a luz da metodologia de Ausubel que por conseguinte fornecem a coleta de dados em relação as questões discutidas em sala de aula e aos questionários aplicados no pós-teste.

PÚBLICO ALVO: Alunos da 3ª série do Ensino médio na disciplina Física.

DATA DE INÍCIO E TÉRMINO: Com início previsto para o dia 09/10/2024 e encerramento para o dia 23/10/2024.

A E.E Professora Alice Salerno se compromete a apoiar esta pesquisa, respeitando todas as normas e diretrizes estabelecidas para garantir a integridade e a confidencialidade dos dados coletados. É importante que todas as atividades sejam realizadas de acordo com as regulamentações e com o devido cuidado para minimizar qualquer impacto sobre o ambiente escolar e seus participantes.

Por favor, certifique-se de que todos os participantes e partes interessadas sejam devidamente informados sobre o projeto e obtenham o consentimento necessário, conforme exigido pela MNPEF e pelas leis aplicáveis.

Estamos à disposição para colaborar e apoiar o desenvolvimento do seu projeto. Caso haja necessidade de ajustes ou informações adicionais, não hesite em entrar em contato conosco.

Atenciosamente,



VERA LÚCIA LOPES DE AGUIAR
PORT GS1017/2023
Diretora

Vera Lúcia Lopes de Aguiar
Diretora
PORT GS1017 de 29 de Setembro de 2023
E.E. PROFª Alice Salerno Gomes de Lima

APÊNDICE D: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título do projeto: Espectroscopia óptica: uma estratégia para uma aprendizagem significativa do modelo atômico no ensino médio.				
ÁREA DO CONHECIMENTO: Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática		NÚMERO DE PARTICIPANTES: 25		
CURSO: Mestrado Profissional em Ensino de Física		UNIDADE: POLO 04- UFAM E IFAM		
PROJETO MULTICÊNTRICO	(X) Sim () Não	(X) Nacional () Internacional	Cooperação Estrangeira	() Sim (X) Não
PATROCINADOR DA PESQUISA: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM)				
INSTITUIÇÃO ONDE SERÁ REALIZADO: Escola Estadual Professora Alice Salerno Gomes de Lima (EEPASGL)				
NOME DOS PESQUISADORES: Prof. Rafael Cardoso Cordeiro ¹ Prof. Dr. Jose Ricardo de Sousa ²				

Você está sendo convidado (a) para participar do projeto de pesquisa acima identificado.

O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas, se desistir, a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo para você

IDENTIFICAÇÃO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA

Nome:		Nacionalidade:	
Data de nascimento:		Profissão:	
RG:	Telefone: ()		
E-mail:			
Endereço:			

IDENTIFICAÇÃO DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

NOME: Rafael Cardoso Cordeiro	TELEFONE: (91) 992133393
PROFISSÃO: Professor	E-MAIL: rafaelfisica22@gmail.com
ENDEREÇO: Rua Joaquim marinho - 22, CEP 69.050540, Manaus-AM.	

¹Professor na Secretária de Educação do Estado do Amazonas (SEDUC-AM), lotado no EEPASGL, R. Raimundo Polari, 14 - Parque Dez de Novembro, Manaus - AM, 69055-250. Mestrando no Mestrado Profissional no Ensino de Física da Sociedade Brasileira de Física (SBF), polo 04. Bolsista FAPEAM.

² Professor da Universidade Federal do Amazonas, Av. Rodrigo Otávio, nº 6.200, Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Setor Norte, Coroado I, CEP: 69.077 - 000. Manaus - Am.

Eu, participante da pesquisa, abaixo assinado(a), após receber informações e esclarecimento sobre o projeto de pesquisa, acima identificado, concordo de livre e espontânea vontade em participar como voluntário(a) e estou ciente:

Da justificativa e dos objetivos para realização desta pesquisa

Nesta pesquisa pretendemos determinar o ganho de aprendizagem oriundo do uso da metodologia peer instruction no processo de ensino aprendizagem de conceitos físicos sobre a radiação do corpo negro para alunos da 11ª etapa da educação de jovens e adultos. Os alunos participantes dessa pesquisa terão uma série de benefícios, pois esta metodologia transforma a dinâmica da sala de aula e promove uma aprendizagem mais ativa.

Do objetivo de minha participação

Minha participação é de suma importância para essa pesquisa, pois os resultados encontrados ao término da mesma poderão contribuir no melhor entendimento dos conteúdos e conceitos abordados em cinemática, para o 9º ano do ensino fundamental II, bem como na análise do uso da teoria dos registros de representação semiótica no ensino de física.

Do procedimento para coleta de dados

A coleta de dados será feita através de dois testes, sendo um pré-teste realizado antes da aplicação do produto educacional e outro realizado após as aulas que serão fundamentadas de acordo com metodologia de ensino peer instruction desenvolvida por Eric Mazur na Universidade de Harvard. A pesquisa será feita na própria instituição de ensino, em sala de aula, no horário das aulas onde os participantes estudam, sem comprometer o horário escolar.

Da utilização, armazenamento e descarte das amostras

Os dados coletados serão exclusivamente utilizados para fins desta pesquisa, que serão publicados no trabalho de conclusão do curso de mestrado do pesquisador bem como em artigos científicos e comunicações em congresso, mas sem identificar os alunos que participaram, podendo ser usados em pesquisas futuras. Os dados coletados nesta pesquisa (testes) ficarão armazenados em pastas de arquivo em computador pessoal, sob a responsabilidade do pesquisador e do orientador, nos endereços (acima informados), pelo período de 5 anos.

Dos desconfortos e dos riscos

Os testes embora simples de serem aplicados, é um instrumento que pode eventualmente causar algum tipo de constrangimento ou até mesmo cansaço da pessoa respondente a ele. No entanto ressaltamos que o participante tem toda liberdade de parar de respondê-lo, e até mesmo, se não quiser, interromper sua participação na pesquisa, se assim se sentir melhor. Há a possibilidade, também, de quebra accidental de confidencialidade.

Dos benefícios.

Como benefícios aos estudantes participantes, prevemos: Aprendizagem Significativa. Além de proporcionar a participação em atividades lúdicas (apresentação de experimento) em sala de aula. Para a Instituição de ensino, prevemos como principais benefícios, a promoção de estratégias de aprendizagem inovadoras e um ganho na aprendizagem para os alunos dela. De maneira geral, os dados que serão obtidos poderão ser utilizados para implementar novas formas de ensinar física, assim como, contribuirão para demonstrar se o ensino de física, via metodologia da Aprendizagem Significativa.

Da forma de acompanhamento e assistência

A pesquisa poderá gerar um desconforto eventual ao responder dos itens. Se esse for o caso, os participantes poderão responder as questões em momento e/ou local mais apropriado.

Da liberdade de recusar, desistir ou retirar meu consentimento

Tenho a liberdade de recusar, desistir ou de interromper a colaboração nesta pesquisa quando desejar, sem necessidade de qualquer explicação. A minha desistência não causará nenhum prejuízo a mim.

Da garantia de sigilo e de privacidade

Os resultados obtidos durante este estudo serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, congressos e dissertação, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados.

Da garantia de esclarecimento e informações a qualquer tempo

Tenho a garantia de tomar conhecimento e obter informações, a qualquer tempo, dos procedimentos e métodos utilizados neste estudo, bem como dos resultados desta pesquisa. Para

tanto, poderei consultar os **pesquisadores responsáveis: Rafael Cardoso Cordeiro, pelo e-mail: rafaelfisica22@gmail.com** ou **Jose Ricardo de Sousa, pelo e-mail jsousa@ufam.edu.br**.

Declaro que obtive todas as informações necessárias e esclarecimento quanto às dúvidas por mim apresentadas e, por estar de acordo, assino o presente documento em duas vias de igual conteúdo e forma, ficando uma em minha posse.

Manaus-AM, ____ de outubro de 2024.

Pesquisador Responsável

Participante da pesquisa

Pesquisador Responsável

8 PRODUTO EDUCACIONAL

O ENSINO CONCEITUAL DO MODELO ATÔMICO, ATRAVÉS DO EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA, NO ENSINO MÉDIO.

**RAFAEL CARDOSO CORDEIRO
JOSE RICARDO DE SOUSA**

**MANAUS-AM
2025**



UFAM



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**INSTITUTO
FEDERAL
Amazonas**

ai

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

C794e Cordeiro, Rafael Cardoso.

O ensino conceitual do modelo atômico, através do experimento da espectroscopia óptica, no ensino médio / Rafael Cardoso Cordeiro, José Ricardo de Sousa. – Manaus, 2025.

66 p. : il. color.

Produto educacional proveniente da dissertação - Espectroscopia óptica: uma estratégia para uma aprendizagem significativa do modelo atômico no 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.

ISBN 978-65-83758-20-0

1. Física – ensino. 2. Física moderna. 3. Espectroscopia óptica. 4. Modelos atômicos. 5. Aprendizagem significativa. I. Sousa, Jose Ricardo de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Universidade Federal do Amazonas. IV. Título.

CDD 530.07



UFAM



SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

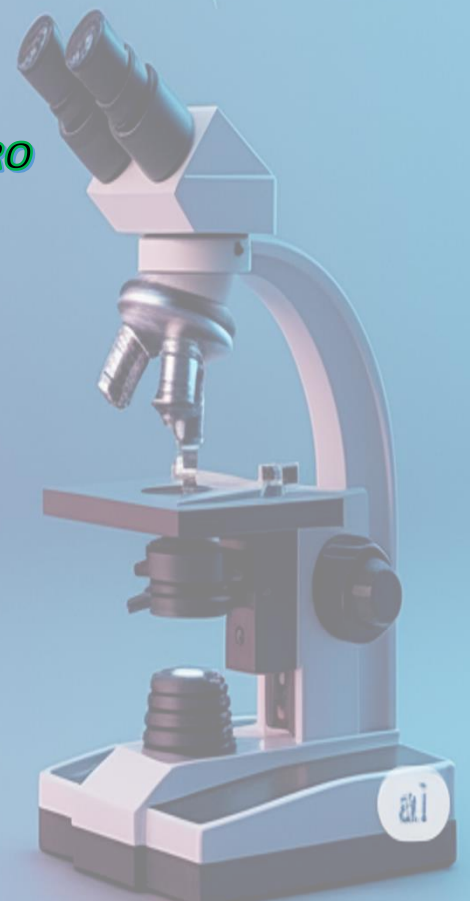
MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



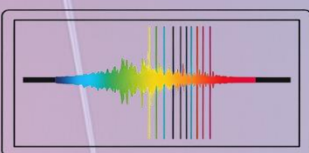
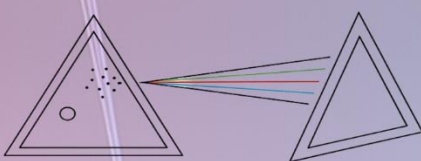
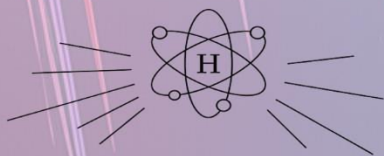
**INSTITUTO
FEDERAL**
Amazonas

***O ENSINO CONCEITUAL DO MODELO ATÔMICO,
ATRAVÉS DO EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA
ÓPTICA, NO ENSINO MÉDIO.***

**RAFAEL CARDOSO CORDEIRO
JOSE RICARDO DE SOUSA**



**MANAUS-AM
2025**



AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Júlio Cordeiro e Joana Cordeiro (enlutados), a minha esposa (Edna Santos) e ao meu filho (Enzo Cordeiro) que sempre me deram força e apoio para estudar e assim buscar uma qualificação melhor.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo apoio financeiro, que foi determinante para viabilizar esta pesquisa.

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

9	CARTA AOS PROFESSORES DE FÍSICA.....	123
10	APRESENTAÇÃO	125
10.1	IDENTIFICAÇÃO.....	125
10.2	PUBLICO ALVO.....	126
10.3	NÚMERO DE AULAS.....	126
10.4	QUADRO SINTÉTICO DAS AULAS.....	127
11	JUSTIFICATIVA	128
12	ALINHAMENTO CURRICULAR.....	131
12.1	COMPETÊNCIA GERAL 1	131
12.2	COMPETÊNCIA GERAL 2	132
13	OBJETIVOS DE APRENDIZAGENS	134
13.1	OBJETIVO GERAL	134
13.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	134
14	APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	135
14.1	OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DE AUSUBEL	135
14.1.1	A estrutura cognitiva.....	136
14.1.2	Aprendizagem.....	136
14.1.3	Aprendizagem Significativa.....	136
14.1.4	Aprendizagem por descoberta e por recepção	138
14.2	METODOLOGIA DE ENSINO	140
15	DETALHAMENTO DAS AULAS.....	142
15.1	AULA 01: PRÉ-TESTE DIAGNÓSTICO.....	143
15.2	AULA 02: DA ESPECTROSCOPIA AO MODELO ATÔMICO.....	153
15.3	AULA 03: A INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E OS MODELOS ATÔMICOS DE DALTON E THOMSON.....	159
15.4	AULA 04: O EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA E OS MODELOS ATÔMICOS.....	170
15.5	AULA 05: DIAGNÓSTICO DE APRENDIZAGEM PÓS-INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA.....	174
15.5.1	Análise dos distratores de cada item.....	177
16	PROJEÇÕES E DESAFIOS FUTUROS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	182
17	REFERÊNCIA	183



9 CARTA AOS PROFESSORES DE FÍSICA

Caro professor de Física,

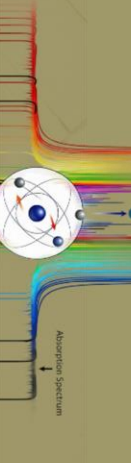
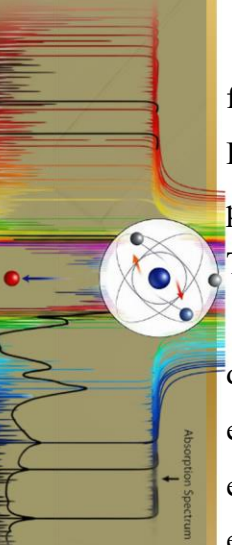
O objetivo principal desse material é apresentar o produto educacional “O Ensino conceitual do Modelo Atômico no Ensino Médio, através do Experimento da Espectroscopia Óptica “. O autor reconhece a necessidade de explorar alternativas para o ensino de Ciências, especialmente a Física, com o objetivo de tornar as aulas mais envolventes e dinâmicas. Essa abordagem visa despertar o interesse dos alunos pela disciplina e contribuir para a motivação e compreensão dos conhecimentos científicos, especialmente no que diz respeito à introdução dos conceitos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio.

Assim, a inclusão de recursos didáticos, como atividades experimentais, é essencial para facilitar a visualização de fenômenos do cotidiano e a utilização das tecnologias disponíveis. Essa abordagem visa estabelecer uma conexão entre os conhecimentos científicos e os saberes pré-existentes na estrutura cognitiva dos alunos, conhecidos como subsunçores, conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Nessa perspectiva, experimento de espectroscopia é fundamental para a compreensão do modelo atômico, pois permite que os alunos visualizem e analisem os espectros de emissão e absorção de diferentes elementos. Ao observar como os átomos interagem com a luz, os estudantes podem entender conceitos-chave, como a quantização de energia e as transições eletrônicas entre níveis de energia. Essa experiência prática não apenas torna os princípios teóricos mais tangíveis, mas também ilustra a natureza discreta da estrutura atômica, reforçando a ideia de que os elétrons ocupam níveis de energia específicos. Além disso, a espectroscopia conecta a teoria à prática, mostrando como os conceitos de Física Moderna são aplicados em tecnologias contemporâneas, como lasers e espectrômetros, o que enriquece a formação dos alunos e desperta seu interesse pela ciência.

Levando em conta a situação problema apresentada, foi elaborada uma proposta de trabalho direcionada aos alunos da terceira série do ensino médio regular, focando na visualização do espectro atômico de diferentes lâmpadas e materiais. O conjunto experimental inclui dois experimentos: Um utilizando lâmpadas de LED e filamento e outro com sais que foram aquecidos com maçarico. Além disso, foi construído um espectrômetro de baixo custo seguindo os padrões indicado pelo aplicativo, “*Theremino_Spectrometer*”, que ajuda na visualização das linhas dos espectros atômicos.

É importante lembrar, que devido a implementação do Novo Ensino Médio (NEM) no Estado do Amazonas, as aulas de física foram reduzidas para uma aula semanal. Então, fazer



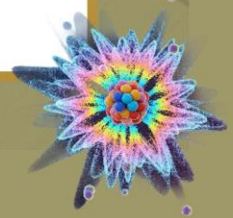
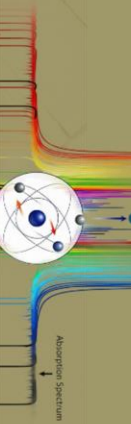
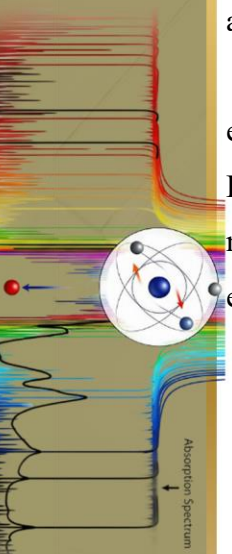


uma Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA) com muitas aulas poderia levar meses para serem concluídas por isso essa sequência terá apenas 5 aulas de 48 minutos.

A metodologia utilizada na elaboração deste produto, que possui o potencial de ser um material significativo, baseia-se principalmente na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel. Essa abordagem considera o conhecimento prévio que o aluno possui como um dos fatores mais cruciais para que a aprendizagem efetivamente aconteça (MOREIRA, 1999).

Para o desenvolvimento das atividades, é oferecido ao professor um suporte teórico, organizado aula por aula, como uma estratégia para facilitar a busca pelos conteúdos. Essa abordagem prática visa facilitar a compreensão dos conceitos de espectroscopia e suas aplicações no estudo da estrutura atômica.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Espectroscopia Óptica: uma estratégia para compreender o Modelo Atômico no Ensino Médio, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 04 – UFAM / IFAM na cidade de Manaus/Am, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.



10 APRESENTAÇÃO

10.1 IDENTIFICAÇÃO

Esse produto educacional é uma sequência didática (SD), pois é um conjunto organizado e intencional de atividades de ensino-aprendizagem, planejadas com base em princípios da teoria da aprendizagem significativa (Ausubel) e em estratégias que favorecem a assimilação de conceitos sobre a espectroscopia óptica e o modelo atômico. Nesse sentido, Moreira (2011) define sequência didática como:

"Uma série de atividades pedagógicas articuladas, projetadas para facilitar a aprendizagem significativa, partindo dos conceitos mais inclusivos e gerais em direção aos mais específicos, de modo a promover a estruturação hierárquica do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz." (MOREIRA, 2011, p. 32).

A SD está alinhada aos princípios da aprendizagem significativa de David Ausubel pois enfatiza a estruturação hierárquica do conhecimento, garantindo que os novos conceitos sejam assimilados de forma lógica e integrada à estrutura cognitiva do aluno.

A (SD) proposta neste trabalho foi desenvolvida com base na pesquisa realizada na dissertação intitulada "[ESPECTROSCOPIA ÓPTICA: UMA ESTRATÉGIA PARA UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MODELO ATÔMICO NO ENSINO MÉDIO.]", com objetivo de investigar a possibilidade de os discentes terem ganho de aprendizagem através do experimento da espectroscopia óptica. O estudo fundamentou-se nos princípios da aprendizagem significativa de Ausubel.

A estrutura proposta organiza-se em cinco momentos pedagógicos inter-relacionados, cada um com função específica no processo de construção do conhecimento.

No primeiro momento, realiza-se um diagnóstico cuidadoso dos subsunçores - os conceitos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos. Esta etapa inicial é crucial para garantir que novas informações possam se ancorar de forma estável.

O segundo momento introduz os organizadores prévios, elementos-chave na teoria ausubeliana. Estes atuam como pontes cognitivas, facilitando a transição entre o conhecido e o novo .

A exposição dialogada com diferenciação progressiva constitui o terceiro momento. Aqui, o conteúdo é apresentado de forma hierárquica, começando por conceitos mais inclusivos (temperatura; difração, refração e absorção da luz) e gradualmente avançando para especificidades (linhas espectrais, níveis de energias etc.).

O quarto momento dedica-se à reconciliação integrativa, talvez o aspecto mais distintivo da proposta ausubeliana. Através das atividades específicas (experimento da espectroscopia óptica), os alunos são guiados a perceber conexões entre novos conhecimentos (linhas espectrais) e sua base cognitiva pré-existente (difração, refração ou absorção da luz).

Por fim, a avaliação é concebida não como mera mensuração, mas como verificação da qualidade da aprendizagem alcançada. Nesse aspecto, será aplicado questões que exigem articulação de conceitos e atividades para verificar se houve ganho de aprendizagem na estrutura cognitiva dos alunos.

10.2 PÚBLICO ALVO

O presente trabalho é uma SD desenvolvida junto a alunos do Ensino Médio de uma escola pública na cidade de Manaus no Estado do Amazonas, com o objetivo de investigar estratégias para promover a aprendizagem significativa em conteúdos de Física (Espectroscopia óptica e o modelo atômico).

O público-alvo desta (SD) compreende estudantes do 3º ano do Ensino Médio, da Escola Estadual Professora Alice Salerno Gomes de Lima, na faixa etária de 17 a 18 anos. Essa escolha justifica-se devido ao conteúdo programático de Física Moderna está presente nessa série do ensino regular pois está presente no Referencial Curricular Amazonense (RCA) (AMAZONAS, 2019) e na BNCC de 2018 (BRASIL, 2018).

10.3 NÚMERO DE AULAS

A sequência didática proposta neste trabalho estrutura-se em cinco aulas consecutivas, cada uma com duração de 48 minutos, cuidadosamente planejadas para promover uma aprendizagem significativa conforme os pressupostos teóricos de David Ausubel. Esta organização temporal não é aleatória, mas resulta de uma deliberada intenção pedagógica de criar momentos de aprendizagem que respeitem os processos cognitivos de assimilação e acomodação conceitual.

10.4 QUADRO SINTÉTICO DAS AULAS

Quadro 2 - Quadro sintético das aulas

N° DA AULA	TÍTULO DA AULA	OBJETO DE CONHECIMENTO	COMPETÊNCIA GERAL DA BNCC	COMPETÊNCIA ESPECÍFICA DE CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS
01	Pré-teste Diagnóstico	<ul style="list-style-type: none"> Identificação de conceitos âncora relevantes; Diagnosticar Lacunas de Conhecimento. 	<p>Competência 1 "Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva."</p> <p>Competência 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.</p>	<p>CNT 01: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e 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 global.</p> <p>CNT 03: 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 (TDIC).</p>
02	Principais conceitos da óptica geométrica e do eletromagnetismo	<ul style="list-style-type: none"> Frequência, comprimento de onda e amplitude; Refração, reflexão, difração e absorção da luz; <ul style="list-style-type: none"> Dualidade Onda-Partícula; Onda eletromagnética. 		
03	Leis de Fraunhofer; Lei de Wien.	<ul style="list-style-type: none"> Espectros de Emissão e Absorção; Temperatura e Radiação. 		
04	O experimento da Espectroscopia Óptica.	<ul style="list-style-type: none"> Interação da Luz com a Matéria; Modelos Atômicos e Moleculares. 		
05	Pós-Teste	<ul style="list-style-type: none"> Conceitos-chave da disciplina; Análise crítica e resolução de problemas; Compreensão e explicação de conceitos. 		

Fonte: Autoria própria (2025).

11 JUSTIFICATIVA

Ao longo de mais de dez anos de docência na educação básica, em especial no Ensino Médio (EM) e agora no Novo Ensino Médio (NEM), percebi uma grande dificuldade dos discentes em compreender o modelo atômico. Muitos perguntam como chegaram nesse modelo (quântico) e porque os modelos anteriores tinham limitações. Nesse sentido, um dos objetivos desta SEA é buscar levar o entendimento teórico por meio do experimento de espectroscopia óptica, pois esse conhecimento foi fundamental para o desenvolvimento da Física Moderna."

Haja vista, que o Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no nível médio é um tema que tem gerado amplos debates. No estudo de Ostermann e Moreira (2000), é realizada uma revisão bibliográfica sobre essa temática, evidenciando a falta de pesquisas voltadas para a aplicação prática em sala de aula no ensino médio. Considerando essa carência de recursos que os professores podem utilizar, o presente trabalho propõe uma alternativa para suprir essa necessidade. Em consonância com a discussão apresentada por Ostermann e Moreira:

Durante a III Conferência Interamericana sobre Educação em Física (BAROJAS, 1988), foi formado um grupo de trabalho com o objetivo de debater o ensino de Física Moderna. Nesse contexto, foram apresentadas diversas justificativas para a inclusão de tópicos contemporâneos no currículo do ensino médio. Entre essas razões, destacam-se:

- I. Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- II. Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não vêem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual as ideias revolucionárias mudaram a ciência totalmente;
- III. É de maior interesse atrair os jovens para a carreira científica. Serão eles os futuros pesquisadores e professores de Física;
- IV. É mais divertido para o professor ensinar tópicos que são novos. O entusiasmo pelo ensino deriva do entusiasmo que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que o entusiasmo tem sobre o bom ensino;
- V. Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata; mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-las. (OSTERMANN; MOREIRA, 2000).

O modelo atômico é um dos pilares da Física, essencial para o entendimento de fenômenos que ocorrem em escalas microscópicas, mas sua complexidade muitas vezes torna difícil para os alunos apreenderem suas nuances. A dificuldade no aprendizado do modelo atômico se manifesta de diversas formas: desde a abstração dos conceitos, como a ideia de camadas e subníveis eletrônicos, até a falta de uma visão integradora entre teoria e prática. Essa lacuna no entendimento prejudica o desenvolvimento do raciocínio lógico e científico dos alunos, impactando diretamente sua capacidade de aplicar esses conceitos em situações práticas

ou em outros campos da ciência. Em minha experiência, percebo que muitos estudantes enfrentam dificuldades para visualizar os processos de transição de elétrons, como as emissões de radiação, o que torna o estudo dos modelos atômicos desafiador e até frustrante para muitos.

Sabe-se que, a espectroscopia é uma técnica fundamental na Física moderna que possibilita investigar as propriedades atômicas e moleculares por meio da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria. Segundo Zabala (2010), a utilização de atividades experimentais facilita o processo de aprendizagem, promovendo uma compreensão mais profunda dos conceitos científicos. De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018), é essencial que o estudante desenvolva habilidades relacionadas à investigação científica, como o uso de procedimentos experimentais, interpretação e análise de fenômenos físicos, corroborando com o Referencial Curricular Amazonense (RCA, 2021), que enfatiza práticas contextualizadas e experimentais na construção do conhecimento científico.

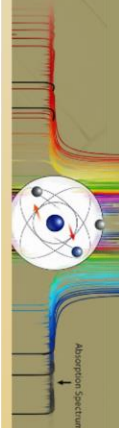
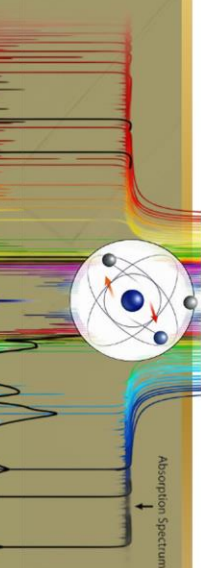
A relação entre espectroscopia e o modelo atômico é especialmente relevante, pois foi pela análise dos espectros atômicos que o modelo atômico de Bohr obteve forte embasamento experimental, contribuindo significativamente para a compreensão dos fenômenos quânticos (TIPLER; MOSCA, 2009). Tipler e Mosca (2009, p. 1129) destacam que "os espectros atômicos são evidências diretas da quantização dos níveis de energia atômica". Através da espectroscopia, os estudantes têm a possibilidade de associar diretamente os espectros observados às transições eletrônicas, aprofundando o entendimento das propriedades únicas dos elementos químicos, alinhando-se às habilidades previstas pela BNCC, como argumentar com base em evidências científicas.

Segundo Ausubel (2003), a aprendizagem significativa ocorre quando o estudante consegue relacionar novos conhecimentos aos já existentes em sua estrutura cognitiva. Essa perspectiva pedagógica é fortalecida pelo RCA (2021), que valoriza o ensino contextualizado e significativo. Dessa maneira, esta sequência didática objetiva desenvolver habilidades como analisar espectros luminosos experimentalmente, interpretar dados empíricos e relacioná-los aos modelos teóricos. Um experimento prático de espectroscopia óptica será realizado, proporcionando aos estudantes a oportunidade de observar e interpretar as linhas espectrais de diferentes compostos químicos, ampliando a relação entre teoria e prática.

Como metodologia, serão empregadas nessa SD estratégias da aprendizagem significativa pois Ausubel e Moreira enfatizam a importância da *aprendizagem ativa* e do *trabalho experimental* como estratégias pedagógicas essenciais para a construção do conhecimento. O experimento de espectroscopia óptica coloca os alunos como protagonistas de sua aprendizagem, ao permiti-los não apenas observar fenômenos, mas também analisar e

refletir sobre os resultados obtidos. Como afirma Moreira (2001), "o trabalho experimental permite que o aluno vivencie a ciência, não apenas como um conhecimento transmitido, mas como um processo investigativo, que ele mesmo conduz".

Deste modo, ao integrar espectroscopia e modelos atômicos à prática educativa proposta pela BNCC e pelo RCA, esta sequência didática contribui para uma formação científica sólida, permitindo aos estudantes compreenderem e aplicarem conhecimentos em física quântica, preparando-os para os desafios científicos contemporâneos.



12 ALINHAMENTO CURRICULAR

Sabe-se, que o ensino no Brasil tem se transformado ao longo dos anos, buscando responder às necessidades educacionais contemporâneas e, ao mesmo tempo, respeitar a diversidade cultural e regional. Nesse cenário, essa SD busca alinhar-se a BNCC de 2018 e o Referencial Curricular Amazonense (RCA) uma vez que apresentam como instrumentos essenciais para a formação dos discentes, especialmente para aqueles que estão no 3º ano do Ensino Médio, etapa crucial na consolidação do conhecimento e preparação para os desafios futuros, seja no mercado de trabalho ou no ensino superior. Haja vista, que ela surge da vivência das dificuldades encontradas em sala de aula sobre o modelo atômico.

É essencial destacar que os objetivos desta SD estão em conformidade com as diretrizes da BNCC, a qual estabelece as competências e habilidades essenciais para a formação dos alunos ao longo da educação básica. As competências gerais da BNCC, são elas:

12.1 COMPETÊNCIA GERAL 1

“Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva (BRASIL, 2018)”.

Essa competência propõe que os alunos valorizem e utilizem os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital. Nesse sentido, está de acordo com essa SD pois os discentes terão em suas aulas uma sequência histórica sobre a espectroscopia desde Issac Newton até os modelos atômico aceitável (de Bohr). Nesse aspecto, essa SD visa proporcionar aos estudantes um aprendizado de maneira contínua e colaborativa (através de uma atividade experimental). Em um mundo cada vez mais complexo e interconectado, essa competência se revela fundamental para a formação de cidadãos críticos e ativos, preparados para enfrentar os desafios do século XXI.

É indubitável a parte experimental pois permite aos alunos observarem a decomposição da luz e as linhas espectrais de diferentes elementos, não apenas ensina conceitos de física, mas também os conecta com o histórico das descobertas científicas. Ao realizar esse experimento, os alunos podem entender de maneira prática como as teorias e descobertas históricas, como as de Fraunhofer, Balmer e Bohr, foram fundamentais para a explicação dos fenômenos naturais. Portanto, o experimento da espectroscopia óptica ilustra de maneira prática como os conhecimentos históricos podem ser aplicados para compreender o mundo físico, ao mesmo tempo em que estimula a reflexão crítica sobre as descobertas científicas.

12.2 COMPETÊNCIA GERAL 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 (BRASIL, 2018)”.

Essa competência de suma importância, pois as atividades experimentais no 3º ano do Ensino Médio são uma excelente oportunidade para exercitar a curiosidade intelectual e aplicar a abordagem científica, conforme proposto no texto. Elas permitem que os alunos investiguem, formulem e testem hipóteses, reflexivamente analisem os resultados e utilizem sua criatividade para resolver problemas reais. Ao integrar conhecimentos essas atividades não apenas preparam os alunos para os desafios acadêmicos e profissionais, mas também os capacitam para se tornarem cidadãos críticos e inovadores, capazes de contribuir para a construção de uma sociedade mais justa,

Portanto, essa SD está em consonância com as competências específicas e habilidades das Ciências da Natureza e dos Temas Contemporâneos Transversais (TCTs), o que não apenas assegura que o ensino siga os parâmetros estabelecidos pela BNCC, mas também proporciona aos alunos a chance de aplicar os conhecimentos de forma prática. Esses aspectos estão detalhados no quadro abaixo.

Quadro 3 - Alinhamento curricular da SD com as competências específicas e habilidades da CNT.

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA DE CIÊNCIA DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS (CNT)	HABILIDADES CNT	ALINHAMENTO COM A SD	TCNs
<p>CNT 01:</p> <p>Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e 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 global.</p>	<p>EM13CNT103:</p> <p>Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.</p>	<p>Ao realizar experimentos de espectroscopia óptica, os alunos podem avaliar como as radiações, como a luz visível, são utilizadas em diversas áreas, como saúde (exames de imagem), indústria (análise de materiais) e na agricultura (monitoramento de plantas).</p>	<p>Ciência e tecnologia; Meio ambiente</p>

COMPETÊNCIA ESPECÍFICA DE CIÊNCIA DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS (CNT)	HABILIDADES CNT	ALINHAMENTO COM A SD	TCNs
<p>CNT 03:</p> <p>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 (TDIC).</p>	<p>EM13CNT301:</p> <p>Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.</p>	<p>Nesse contexto, o experimento oferece uma oportunidade prática para desenvolver as competências científicas exigidas pela habilidade, pois, os alunos são incentivados a prever quais resultados esperar com base no conhecimento prévio sobre a interação de radiações com átomos ou moléculas.</p>	<p>Ciência e tecnologia; Meio ambiente</p>

Fonte: Autoria própria (2025)

13 OBJETIVOS DE APRENDIZAGENS

Os objetivos de ensino dessa SD estão classificados hierarquicamente com os objetivos educacionais, pois se dividem em **criar, introduzir, análise, apresentar e investigar**. Isso permite que os objetivos de ensino evoluam de habilidades cognitivas simples para mais complexas (Bloom, 1956).

"A Taxonomia de Bloom organiza as habilidades cognitivas de uma maneira progressiva, com o objetivo de proporcionar uma base para uma educação mais estruturada e eficaz" (Bloom et al., 1956, p. 42).

13.1 OBJETIVO GERAL

Criar um aparato experimental simples e acessível que introduza conceitos de Física Moderna e Contemporânea relacionado ao modelo atômico, áreas pouco abordadas no Ensino Médio. Assim, busca-se oferecer aos professores uma abordagem prática para desenvolver e aplicar esses conceitos de forma significativa no ensino.

13.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Introduzir a natureza corpuscular da luz através da espectroscopia, levando o aluno a compreender a complexa noção de espectros e sua relevância para o modelo atômico de Bohr;
- Analisar por que esses espectros contêm informações sobre as fontes de luz;
- Apresentar os conceitos de emissão, absorção e difração da radiação em uma discussão sobre a composição química dos materiais;
- Desenvolver um Produto Educacional para investigar os espectros contínuos e discretos de emissão espectroscópica de lâmpadas (de LED e de filamento) e de alguns sais aquecidos com maçarico.

14 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

É importante ressaltar que a teoria da assimilação de David Paul Ausubel, conhecida como teoria da aprendizagem significativa, pertence ao campo cognitivista e busca elucidar os mecanismos internos relacionados ao aprendizado e à organização do conhecimento na mente humana. Nesse sentido Ausubel, contemporâneo de Piaget, apresenta propostas que compartilham algumas semelhanças com as do biólogo suíço, mas também se distinguem em outros aspectos. Ao contrário de Piaget, cujo principal foco de estudo não era a aprendizagem em sala de aula, Ausubel direciona sua atenção principalmente para essa área, apresentando propostas concretas para o ambiente acadêmico. Assim como Piaget, Ausubel reconhece a importância da aprendizagem por descoberta, mas reforça a relevância da aula expositiva, que se torna o cerne de sua pesquisa.

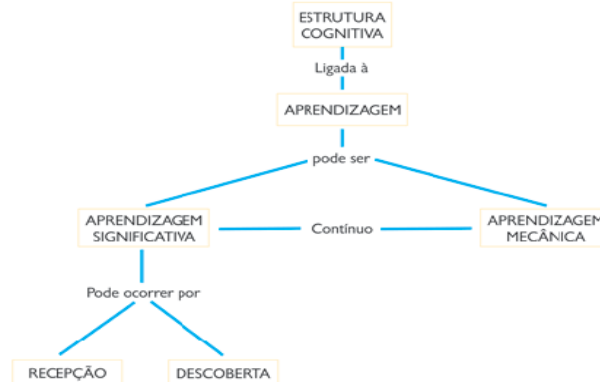
Nesse contexto, o principal legado de Ausubel consiste exatamente em técnicas e reflexões sobre a aula tradicional, destacando a abordagem, a atenção e o esforço ideais que um professor deve adotar nesse cenário, visando proporcionar a melhor experiência de aprendizado para os alunos.

Nas próximas seções, abordaremos alguns dos aspectos mais relevantes da teoria de Ausubel. Para isso, começaremos apresentando o modelo cognitivo e de aprendizagem proposto por ele, seguido de explicações sobre os principais elementos internos e externos da aprendizagem.

14.1 OS PRINCIPAIS CONCEITOS DA TEORIA DE AUSUBEL

Conforme a teoria de Ausubel, os conceitos fundamentais relacionados à aprendizagem se organizam esquematicamente da seguinte maneira (Faria, 1989, p 7):

Figura 24 – Esquema ilustrativo da ocorrência da aprendizagem significativa.



Fonte: Farias (1999)

Ao analisar individualmente cada um desses conceitos, podemos observar:

14.1.1 A estrutura cognitiva

De acordo com Ausubel (citado por Faria, 1989, p. 8), a estrutura cognitiva representa o conjunto completo e organizado de ideias de um determinado indivíduo; ou, no contexto da aprendizagem de determinados temas, refere-se ao conteúdo e organização das suas ideias em uma área específica de conhecimento. Em resumo, a ênfase está na aquisição, armazenamento e organização das ideias na mente do indivíduo.

Segundo Ausubel, a estrutura cognitiva de cada indivíduo é altamente organizada e hierarquizada, de modo que as diversas ideias se conectam conforme as relações estabelecidas entre elas. Nessa estrutura, novos conceitos e ideias são ancorados e reorganizados à medida que o indivíduo os internaliza e aprende progressivamente.

Neste ponto, é relevante destacar a diferença conceitual entre a estrutura cognitiva definida pela teoria da atividade e aquela definida por Ausubel. Enquanto neste contexto há ênfase na aquisição, armazenamento e organização de ideias, na teoria da atividade, esse conceito está mais associado aos processos mentais superiores que influenciam a forma como o indivíduo estrutura suas atividades e estão na base de sua interação com o mundo objetivo.

14.1.2 Aprendizagem

Segundo Ausubel, a aprendizagem envolve a "ampliação" da estrutura cognitiva por meio da incorporação de novas ideias a ela. O tipo de relacionamento entre as ideias já presentes nessa estrutura e as novas que estão sendo internalizadas determina se a aprendizagem será mecânica ou significativa.

14.1.3 Aprendizagem Significativa

A aprendizagem é dita significativa quando uma nova informação adquire significados para o aluno através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, isto é, em conceitos, ideias, proposições já existentes em sua estrutura de conhecimentos (ou de significados) com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Para (AUSUBEL, 1963, p. 58), a aprendizagem significativa é o mecanismo humano, por excelência, para adquirir e armazenar a vasta quantidade de ideias e informações representadas em qualquer campo de conhecimento. Por exemplo, compreender o conceito de "fóton" será verdadeiramente significativo se houver uma clara relação com o conceito de luz e ondas eletromagnéticas.

Nessa perspectiva, os subsunçores são formados no primeiro contato dos alunos com o assunto, através das exposições verbais do professor. O lúdico (experimento da difração da luz), ao ser utilizado como ferramenta de ensino, proporciona ao discente um saber não arbitrário e não literal e, por ser prazeroso e significativo. Segundo Moreira (1999, p. 62),

Para Ausubel, aprendizagem significativa é um processo através do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ou seja, este processo envolve a interação da nova formação com uma estrutura de conhecimento específica, existente na estrutura cognitiva do indivíduo. A aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se ancora em conceitos ou preposições relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 1999, p. 62).

Para ser considerada significativa, a aprendizagem não apenas deve evitar relações arbitrárias, mas também precisa ser substancial. Isso significa que, ao aprender um determinado conteúdo dessa forma, o indivíduo será capaz de explicá-lo com suas próprias palavras. Dessa forma, um mesmo conceito pode ser descrito em termos sinônimos e ainda transmitir o mesmo significado (Aragão, 1976, p 21). Por esse motivo, que a "substancialidade" da aprendizagem indica que o aprendiz compreendeu o sentido e o significado do que foi ensinado, permitindo que ele expresse esse significado de várias maneiras.

Segundo Ausubel, o principal objetivo do ensino acadêmico é garantir que todas as ideias sejam aprendidas de maneira significativa. Isso é essencial para que essas novas ideias sejam retidas por um longo período e de forma consistente. Além disso, a aprendizagem significativa capacita o aprendiz a aplicar o novo conceito de maneiras inovadoras, independentemente do contexto inicial em que o conteúdo foi aprendido.

Por outro lado, a aprendizagem mecânica representa o oposto da aprendizagem significativa. Nesse caso, “novas informações são aprendidas praticamente sem interagirem com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem ligarem-se a conceitos subsunçores específicos” (Moreira, 2009, p. 9-10). Ou seja, a nova informação armazena-se de forma arbitrária e literal. Contudo, as novas ideias são simplesmente memorizadas sem estabelecer conexões lógicas e claras com o conhecimento prévio do sujeito. Essas informações são armazenadas de maneira arbitrária, resultando em uma falta de flexibilidade em sua aplicação e durabilidade. Devido à falta de versalidade resultante desse tipo de aprendizado (que não é substancial), o indivíduo não consegue expressar o novo conteúdo de maneira diferente da forma em que foi inicialmente aprendido. Em vez disso, ele apenas memoriza a sequência de palavras que o define, sem compreender o significado ou a essência do novo material. Como resultado, ele não consegue aplicar esse conhecimento em contextos diferentes daquele em que foi originalmente apresentado. Por exemplo, no caso sobre o cachorro ser um

mamífero, a pessoa não conseguirá estabelecer a relação entre o cachorro e o ser humano, ou compreender que os mamíferos mamam.

Portanto, é relevante destacar que, embora Ausubel tenha dado grande ênfase à aprendizagem significativa, ele reconhecia que em determinadas situações do processo de ensino e aprendizagem, a abordagem mecânica era inevitável.

14.1.4 Aprendizagem por descoberta e por recepção

De acordo com a teoria de Ausubel, a aprendizagem pode ocorrer tanto por meio da descoberta quanto da recepção.

— **Descoberta:** o aluno é responsável por aprender de forma autônoma, descobrindo princípios, relações, leis, como ocorre na resolução de problemas.

— **Recepção:** o aluno recebe a informação pronta, como em uma aula expositiva, e sua tarefa é interagir ativamente com esse material, relacionando-o a ideias relevantes já presentes em sua estrutura cognitiva.

Por isso, essa pesquisa utilizará as duas formas de aprendizagem proposta por Ausubel pois os alunos terão que interagir com o experimento da difração da luz e a partir de suas observações e análise relacionar com os assuntos ministrados em sala de aula sobre o Modelo Atômico. Logo, Ausubel destaca que tanto as aprendizagens por recepção quanto por descoberta podem se tornar mecânicas. Isso ocorre quando as relações entre as ideias já presentes na estrutura cognitiva e a nova informação a ser aprendida não são logicamente claras para o aluno.

Na busca para promover a aprendizagem significativa, Ausubel propõe que a programação do conteúdo a ser ensinado obedeça basicamente a dois princípios básicos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

Para Moreira a Diferenciação Progressiva (2009, p. 65) é “o princípio segundo o qual as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria de ensino devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade”. Este princípio envolve a organização das ideias e conceitos em uma sequência que vai do geral ao específico, conforme defendido por Ausubel. Essa abordagem é fundamentada em dois motivos:

— “É mais fácil para o ser humano compreender os aspectos diferenciados de um todo (mais inclusivo) previamente aprendido, (...) do que formular o todo mais inclusivo a partir das suas partes diferenciadas previamente aprendidas” (Ausubel apud Faria, 1989, p. 28). Ou seja, generalizar a partir de conceitos mais específicos é mais difícil do que aprender conceitos particulares a partir de um mais geral.

— Este tipo de hierarquia é a que acontece na mente de cada pessoa: as ideias mais gerais/ inclusivas ocupam o topo da estrutura cognitiva, e têm subordinadas a si ideias progressivamente mais específicas/ menos inclusivas.

Já a reconciliação integrativa é “o princípio programático segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes” (Ausubel apud Faria, 1989, p. 65). Nesse contexto, Ausubel se preocupa com a maneira como as ideias são apresentadas ao aluno e como ele as relacionará em sua estrutura cognitiva.

Portanto é mais comum preparar a apresentação do conteúdo de maneira análoga a essa hierarquização, a fim de facilitar a aprendizagem significativa. Já a reconciliação integrativa explora as relações entre os conceitos, percebendo semelhanças e diferenças entre eles. Acontece quando o estabelecimento das relações entre os conceitos específicos assimilados pelos alunos vai integrando novas informações que permitem a ampliação e evolução desses conceitos em níveis de formulação mais geral (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1980). Os dois processos ocorrem simultâneo, mas com intensidades diferentes, mas são imprescindíveis na construção cognitiva para a busca do conhecimento.

14.2 METODOLOGIA DE ENSINO

As aulas a serem detalhadas na seção 7, podem ser entendidas em três momentos: análise de conhecimentos prévios e existência de subsunçores (aula 1), intervenção pedagógica (Aula 2, 3 e 4) e avaliação da aprendizagem (aula 5).

As aulas 1 e 5 são parte fundamentais a qualquer processo de ensino aprendizagem, pois é necessário conhecer as necessidades educacionais do aluno e avaliar a assimilação de conhecimento. Todavia, na metodologia de Ausubel, em especial, é indispensável que o professor identifique o conhecimento prévio para poder promover a aprendizagem significativa.

Portanto antes do início da aplicação desta metodologia que apresentaremos para as aulas 2, 3 e 4, torna-se indispensável que o professor realize tal avaliação.

No processo de desenvolvimento desta sequência didática que é resultado do trabalho de dissertação, percebemos a ausência de conhecimentos prévios e dos subsunçores desenvolvidos ao longo do processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de temperatura e energia térmica, da natureza da Luz, dos fenômenos ondulatórios, dos modelos atômicos e das contribuições da espectroscopia ótica para o desenvolvimento dos modelos atômicos.

A fim de proporcionarmos uma aprendizagem significativa, a metodologia de ensino foi desenvolvida considerando os diferentes tipos de aprendizagem propostas por Ausubel. Portanto, a metodologia de ensino consistirá em 6 etapas, sendo:

1° Aprendizagem mecânica: esta etapa consiste em introduzir, os conhecimentos prévios necessários para a compreensão dos modelos atômicos, por meio de aulas expositivas sobre os temas.

2° Aprendizagem mecânica: Apresentar o modelo atômico e suas características.

3° Aprendizagem por recepção e descoberta: Neste momento pretende-se promover a aprendizagem usando recursos didáticos como experimentos e/ou simuladores para possibilitar que os alunos façam descobertas ou constatem as explicações apresentadas de forma mecânica.

4° Aprendizagem por recepção e descoberta: Consiste em apresentar as limitações do modelo atômico apresentador nas etapas 1 e 2, destacando as suas limitações em relação a capacidade de explicar os fenômenos físicos observados por meio da espectroscopia.

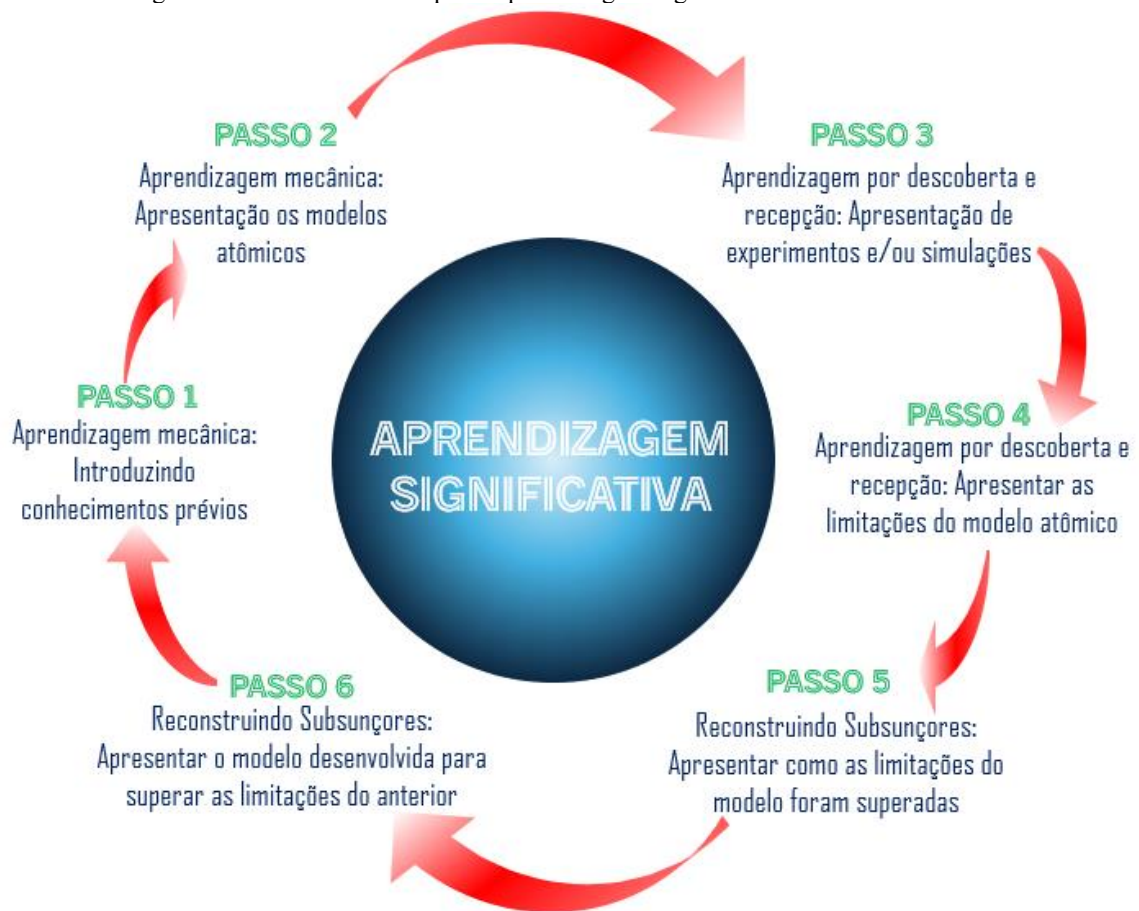
5° Reconstruindo Subsunçores: Apresentar os conceitos desenvolvidas para superar as limitações do antigo modelo atômico.

6° Reconstruindo Subsunçores: Apresentar o novo modelo atômico construído para superar as dificuldades do modelo atômico que o antecedeu.

Esta proposta metodológica de ensino se alicerça, nitidamente, na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, uma vez que, ela busca a partir da criação de um círculo didático que se conecta por meio de um processo cíclico, estabelecer três características da teoria de Ausubel: aprendizagem mecânica, aprendizagem por recepção e descoberta e, foca em fornecer os elementos necessários para a construção dos subsunçores, estruturas cognitivas que possibilitam ao aluno, de forma autônoma, estabelecer relações e estruturar conhecimento.

Para exemplificarmos essa metodologia analisaremos a figura 1.

Figura 25. Círculo Didático para Aprendizagem Significativa do Modelo atômico.

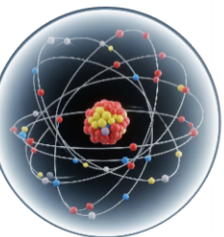
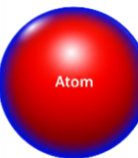
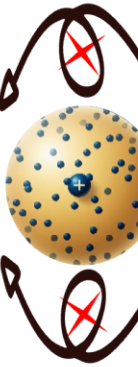
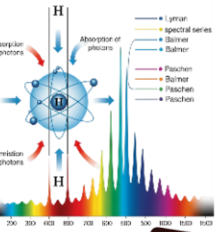


Fonte: Autoria Própria (2025).

15 DETALHAMENTO DAS AULAS

O detalhamento das aulas é essencial para a construção de um ensino significativo e eficaz. O educador deve considerar que cada aula desempenha um papel crucial no desenvolvimento dos conhecimentos dos alunos. O detalhamento adequado das aulas permite que o conteúdo seja transmitido de forma estruturada e progressiva, respeitando as necessidades cognitivas e sociais dos alunos. Segundo Cunha (2009), uma SD bem detalhada propicia uma "graduação progressiva de conhecimentos", permitindo que os conteúdos sejam abordados de forma sequencial, sem sobrecarregar os alunos.

É incontestável que a SD está orientada pelos fundamentos da aprendizagem significativa e visa aprimorar a compreensão dos alunos sobre o modelo atômico por meio da aplicação de um experimento de baixo custo em espectroscopia óptica.



15.1 AULA 01: PRÉ-TESTE DIAGNÓSTICO

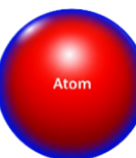
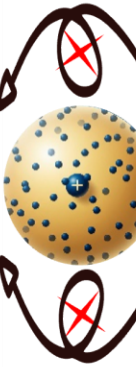
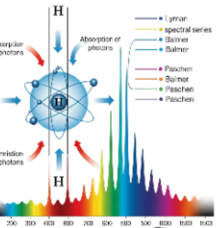
Quadro 4 – Quadro da aula 01

OBJETO DE CONHECIMENTO	HABILIDADES	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE APRENDIZAGEM	AVALIAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> Identificação de conceitos âncora relevantes; Diagnosticar Lacunas de Conhecimento. 	EM13CNT101	a) Identificar o nível de compreensão e as concepções iniciais dos alunos em relação aos principais conceitos de Óptica e do Eletromagnetismo.	<p>I- Avaliar o conhecimento prévio dos alunos para: Diagnosticar conhecimentos prévios, detectar lacunas no conhecimento, orientar o planejamento de ensino e motivar os alunos (MOREIRA, 2019);</p> <p>II- Mapear a organização cognitiva inicial sobre o tema;</p> <p>III- Estimular a curiosidade científica sobre fenômenos espectrais.</p>	Diagnóstica

Fonte: Autoria própria (2025)

O conhecimento prévio desempenha um papel essencial no processo de aprendizagem, pois facilita a assimilação de novos conteúdos, permitindo ao estudante compreender, relacionar e integrar informações de forma mais eficiente.

Nesse contexto, o pré-teste diagnóstico é composto por 10 questões discursivas. Conforme sugerido por Perrenoud (2000), a avaliação diagnóstica possibilita ao professor ajustar o conteúdo e as metodologias de ensino de acordo com o nível de compreensão dos alunos. Portanto, a seguir será apresentado os itens bem como os seus respectivos subsunçores.



7.1.1 DETALHAMENTO DOS ITENS.

ÍTEM 01: Você já observou atentamente uma chama de vela? Por que a parte de baixo da chama é mais azulzinha e a parte de cima mais avermelhada? em qual parte da chama da vela a temperatura é maior/menor na azulzinha ou na avermelhada? Por que você acha isso?



Fonte: Autoria própria (2025).

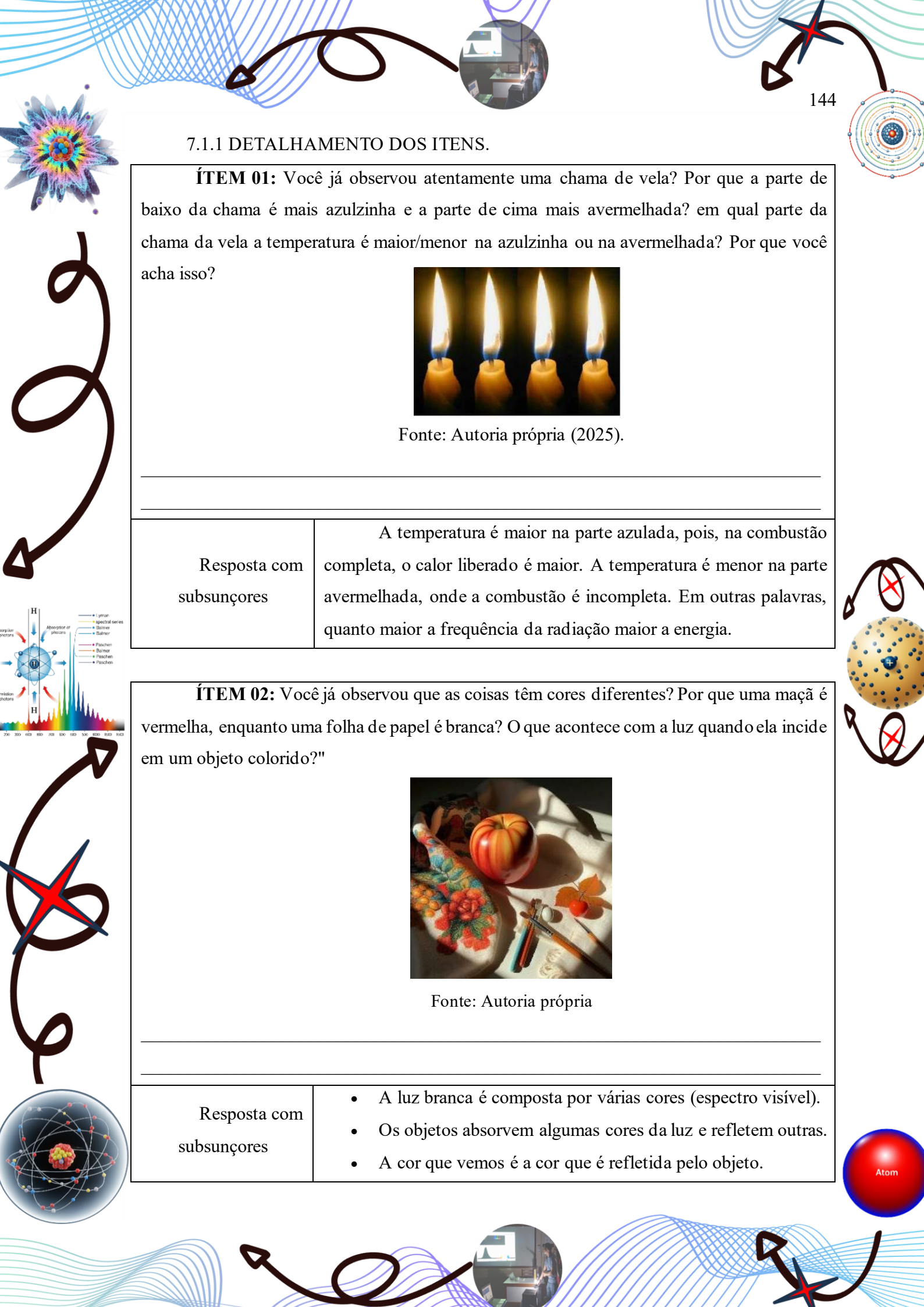
Resposta com subsunçores	A temperatura é maior na parte azulada, pois, na combustão completa, o calor liberado é maior. A temperatura é menor na parte avermelhada, onde a combustão é incompleta. Em outras palavras, quanto maior a frequência da radiação maior a energia.
--------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ÍTEM 02: Você já observou que as coisas têm cores diferentes? Por que uma maçã é vermelha, enquanto uma folha de papel é branca? O que acontece com a luz quando ela incide em um objeto colorido?"



Fonte: Autoria própria

Resposta com subsunçores	<ul style="list-style-type: none"> • A luz branca é composta por várias cores (espectro visível). • Os objetos absorvem algumas cores da luz e refletem outras. • A cor que vemos é a cor que é refletida pelo objeto.
--------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



- No caso da maçã vermelha, ela absorve a maioria das cores da luz branca e reflete principalmente vermelha.

ÍTEM 03: Você já percebeu que em um dia quente, as roupas de cores escuras parecem mais quentes do que as claras? Por que será que isso acontece? O que a cor de uma roupa tem a ver com a sensação térmica?



Fonte: A autoria própria

Resposta com subseções

- As cores escuras absorvem mais energia luminosa do que as cores claras.
- A energia luminosa absorvida é convertida em energia térmica.
- Quanto mais calor a roupa absorve, maior será a sensação térmica de quem a está usando.
- Outros fatores, como o tipo de tecido e as condições climáticas, também influenciam a sensação térmica.

ÍTEM 04: Você já observou o céu estrelado em uma noite clara? Percebeu que as estrelas têm cores diferentes? Por que será que algumas estrelas são mais azuladas e outras mais avermelhadas? O que a cor de uma estrela pode nos dizer sobre ela?

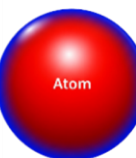
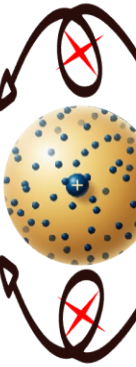
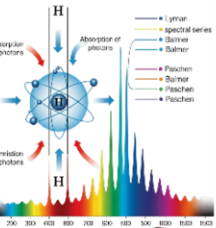


Figura 26 - Ilustração de estrelas de distintas cores.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/fYsYmW76xjT4Txkn6> . Acesso em 13/06/2025.

Resposta com subsunçores

- A cor de uma estrela está relacionada com sua temperatura.
- Estrelas mais quentes emitem luz com maior frequência (cor mais azulada), enquanto estrelas mais frias emitem luz com menor frequência (cor mais avermelhada).
- A cor de uma estrela também pode fornecer informações sobre sua composição química.
- Os astrônomos utilizam a espectroscopia para analisar a luz das estrelas e determinar sua temperatura, composição e outras características.

ÍTEM 05: Imagine que você quebrou um lápis. Você pode continuar quebrando-o em pedaços cada vez menores. Mas, e se você pudesse continuar quebrando esses pedaços infinitamente? Dalton acreditava que existia um limite para essa divisão, uma partícula tão pequena que não poderia ser dividida.

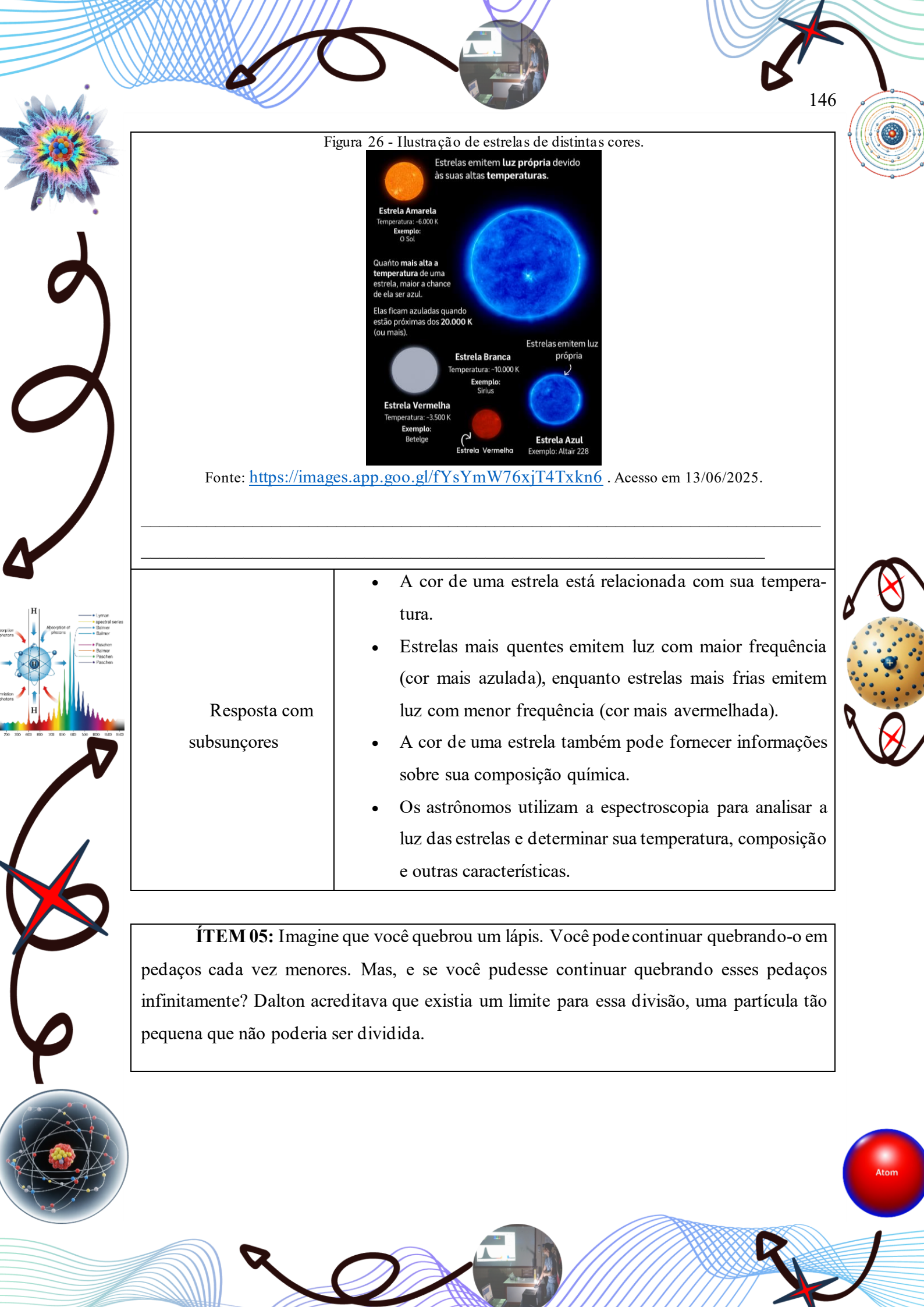


Figura 27 - Ilustração da situação problema.



Fonte: Autoria própria

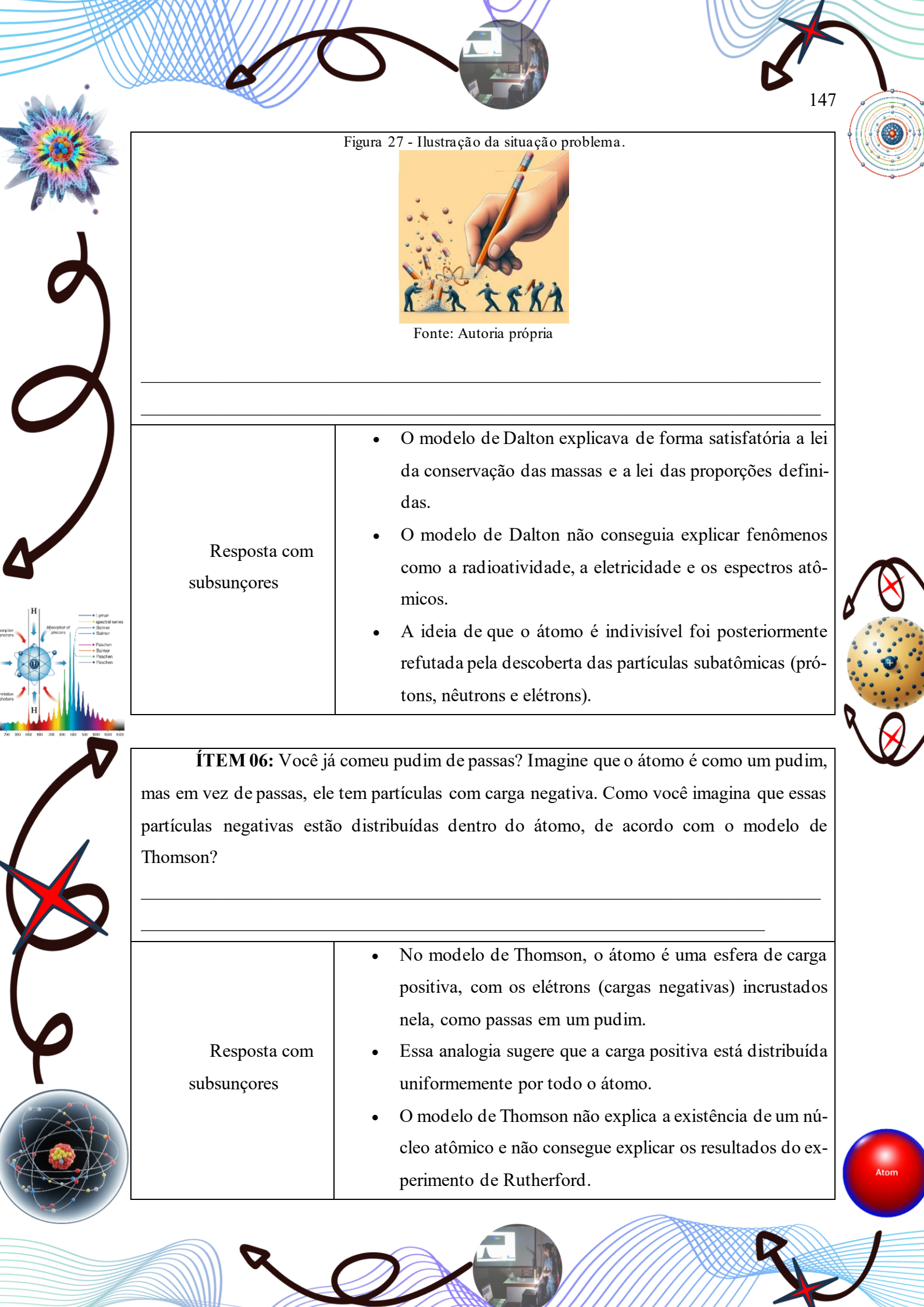
Resposta com subseções

- O modelo de Dalton explicava de forma satisfatória a lei da conservação das massas e a lei das proporções definidas.
- O modelo de Dalton não conseguia explicar fenômenos como a radioatividade, a eletricidade e os espectros atômicos.
- A ideia de que o átomo é indivisível foi posteriormente refutada pela descoberta das partículas subatômicas (prótons, nêutrons e elétrons).

ÍTEM 06: Você já comeu pudim de passas? Imagine que o átomo é como um pudim, mas em vez de passas, ele tem partículas com carga negativa. Como você imagina que essas partículas negativas estão distribuídas dentro do átomo, de acordo com o modelo de Thomson?

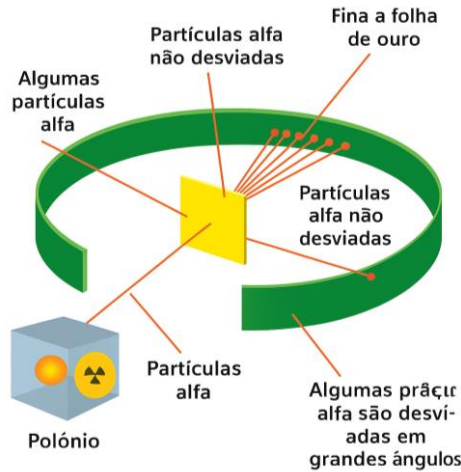
Resposta com subseções

- No modelo de Thomson, o átomo é uma esfera de carga positiva, com os elétrons (cargas negativas) incrustados nela, como passas em um pudim.
- Essa analogia sugere que a carga positiva está distribuída uniformemente por todo o átomo.
- O modelo de Thomson não explica a existência de um núcleo atômico e não consegue explicar os resultados do experimento de Rutherford.



ÍTEM 07: Imagine que você atira bolinhas de gude em uma parede. O que você espera que aconteça? E se você atirasse essas bolinhas em uma peneira? O experimento de Rutherford foi um pouco parecido, mas em escala atômica. Ele "atirou" partículas em uma fina lâmina de ouro. Os resultados foram surpreendentes! Como você acha que esses resultados levaram Rutherford a propor um novo modelo para o átomo?

Figura 28 - Ilustração do experimento de Rutherford.

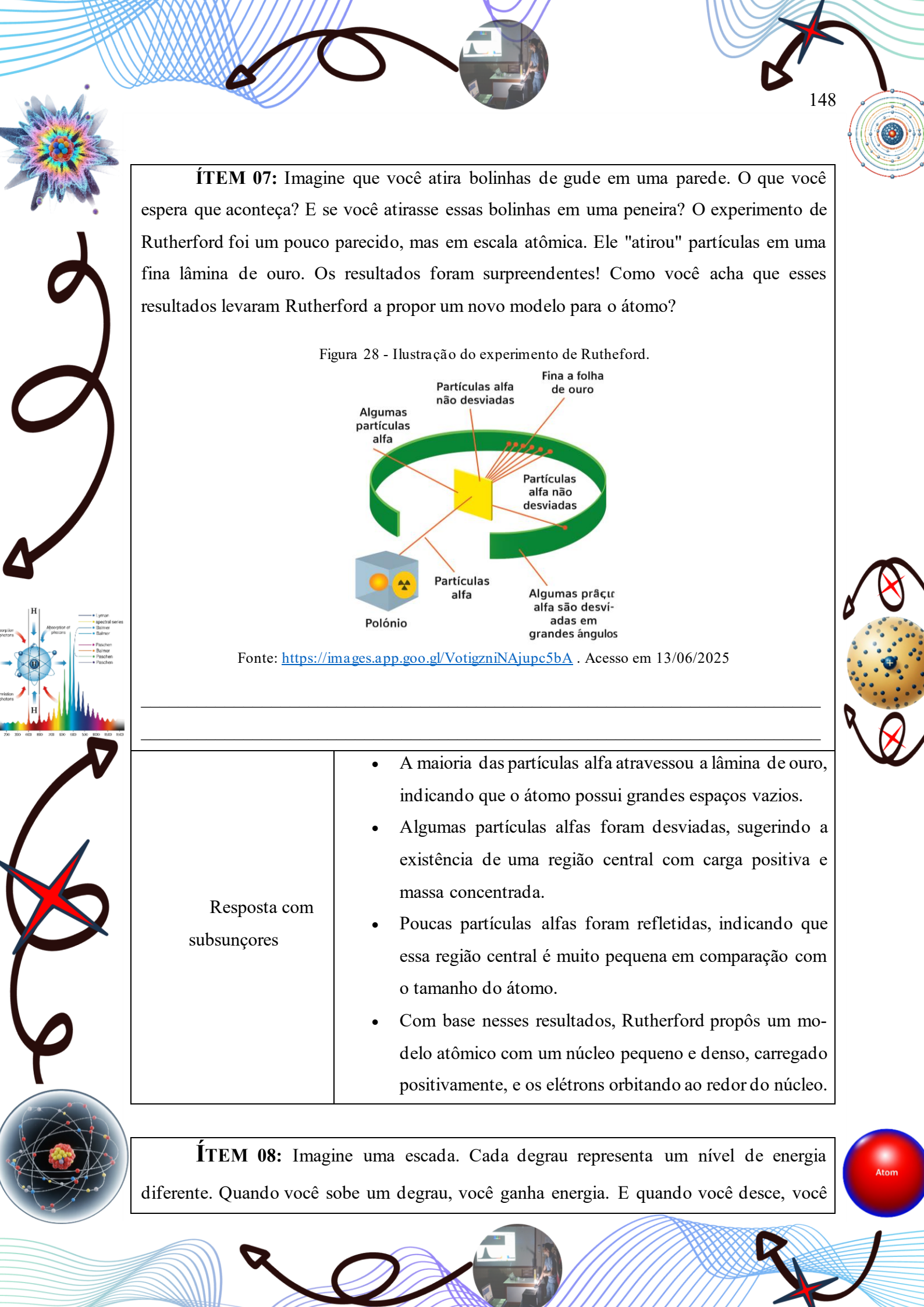


Fonte: <https://images.app.goo.gl/VotigzniNAjupc5bA> . Acesso em 13/06/2025

Resposta com
subsunçores

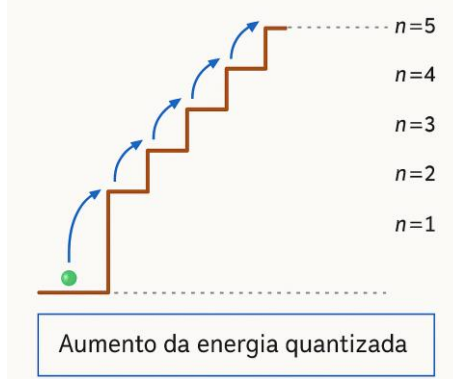
- A maioria das partículas alfa atravessou a lâmina de ouro, indicando que o átomo possui grandes espaços vazios.
- Algumas partículas alfas foram desviadas, sugerindo a existência de uma região central com carga positiva e massa concentrada.
- Poucas partículas alfas foram refletidas, indicando que essa região central é muito pequena em comparação com o tamanho do átomo.
- Com base nesses resultados, Rutherford propôs um modelo atômico com um núcleo pequeno e denso, carregado positivamente, e os elétrons orbitando ao redor do núcleo.

ÍTEM 08: Imagine uma escada. Cada degrau representa um nível de energia diferente. Quando você sobe um degrau, você ganha energia. E quando você desce, você



libera energia. Os elétrons nos átomos são como pessoas subindo e descendo uma escada. Quando um elétron "sobe" para um nível de energia mais alto, ele absorve energia. E quando ele "desce", ele libera essa energia na forma de luz. Como essa ideia explica as diferentes cores que vemos nos fogos de artifício?

Figura 29 – ilustração dos níveis de energia acessíveis.

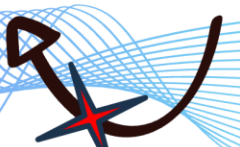
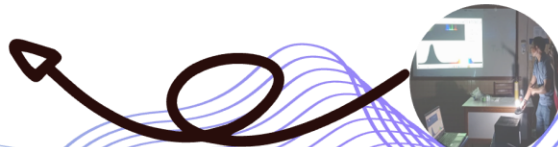
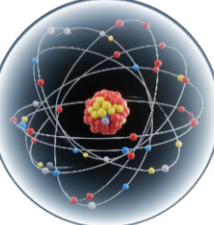
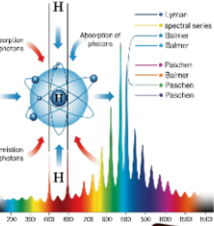
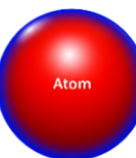
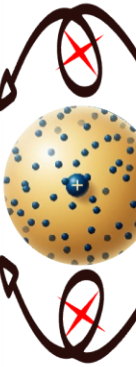
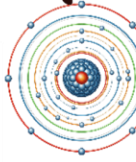


Fonte: <https://images.app.goo.gl/fa4v5gYJLPZraU4y6> . Acesso em 13/06/2025.

Resposta com subunçoes

- Os elétrons nos átomos ocupam níveis de energia específicos.
- Quando um átomo absorve energia, seus elétrons podem ser excitados para níveis de energia mais altos.
- Ao retornar ao estado fundamental, os elétrons liberam a energia excedente na forma de luz.
- A cor da luz emitida depende da diferença de energia entre os níveis de energia envolvidos na transição eletrônica.

ÍTEM 09: Imagine um prédio com andares bem definidos. O modelo de Bohr é como esse prédio, com os elétrons ocupando andares específicos (níveis de energia). Mas e se os elétrons não fossem tão "organizados" assim? E se eles pudessem estar em diferentes "quartos" dentro de cada andar? O modelo quântico nos ajuda a entender essa complexidade. Como os orbitais atômicos explicam essa ideia de "quartos" dentro do átomo?

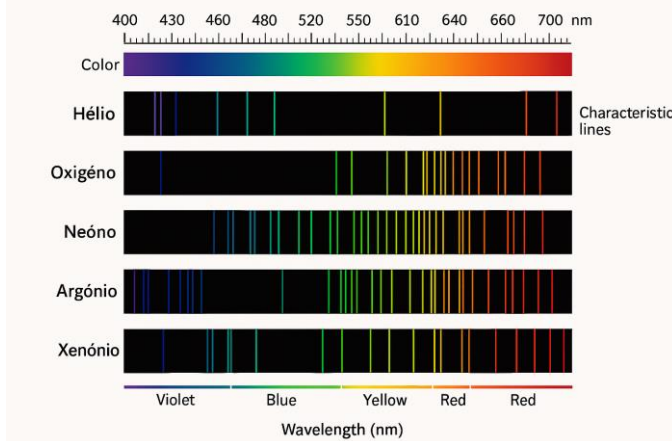


Resposta com subunçores

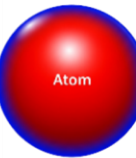
- O modelo de Bohr, embora tenha sido um avanço significativo, apresenta limitações ao descrever átomos com muitos elétrons.
- O modelo quântico, baseado na mecânica ondulatória, oferece uma descrição mais precisa da estrutura atômica, considerando a natureza dual (onda-partícula) dos elétrons.
- Os orbitais atômicos representam regiões do espaço ao redor do núcleo onde há maior probabilidade de encontrar um elétron.
- Os orbitais têm diferentes formas e orientações no espaço, o que explica a complexidade dos espectros atômicos e a formação de ligações químicas.

ÍTEM 10: Imagine que você está em um concerto e quer identificar os diferentes instrumentos musicais que estão sendo tocados. Cada instrumento produz um som único, certo? Da mesma forma, cada elemento químico produz um "som" único quando seus elétrons mudam de nível de energia. Como os espectros atômicos, que são como as "partituras" desses "sons", podem nos ajudar a identificar quais elementos estão presentes em uma amostra?

Figura 30 - espectro de emissão de distintos átomos, enfatizando o fato de cada possuir um espectro distinto.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/6oNQgdF6KuYYZjyTA> . Acesso em 13/05/2025.

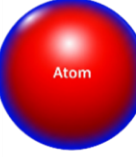
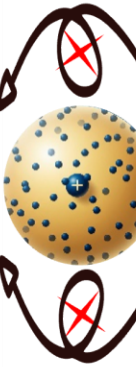
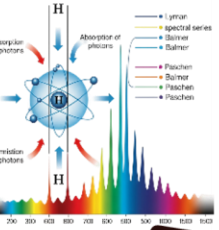


<p>Resposta com subsunçores</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cada elemento químico possui um espectro de emissão único, como uma "impressão digital". • As linhas presentes no espectro correspondem às transições eletrônicas entre os níveis de energia dos átomos. • Comparando o espectro de uma amostra desconhecida com os espectros de referência de elementos conhecidos, é possível identificar quais elementos estão presentes na amostra. • A espectroscopia é uma técnica poderosa utilizada em diversas áreas, como astronomia, química analítica e forense.
---------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Para auxiliar professores e pesquisadores na correção, apresentamos um quadro que categoriza as respostas dos alunos de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

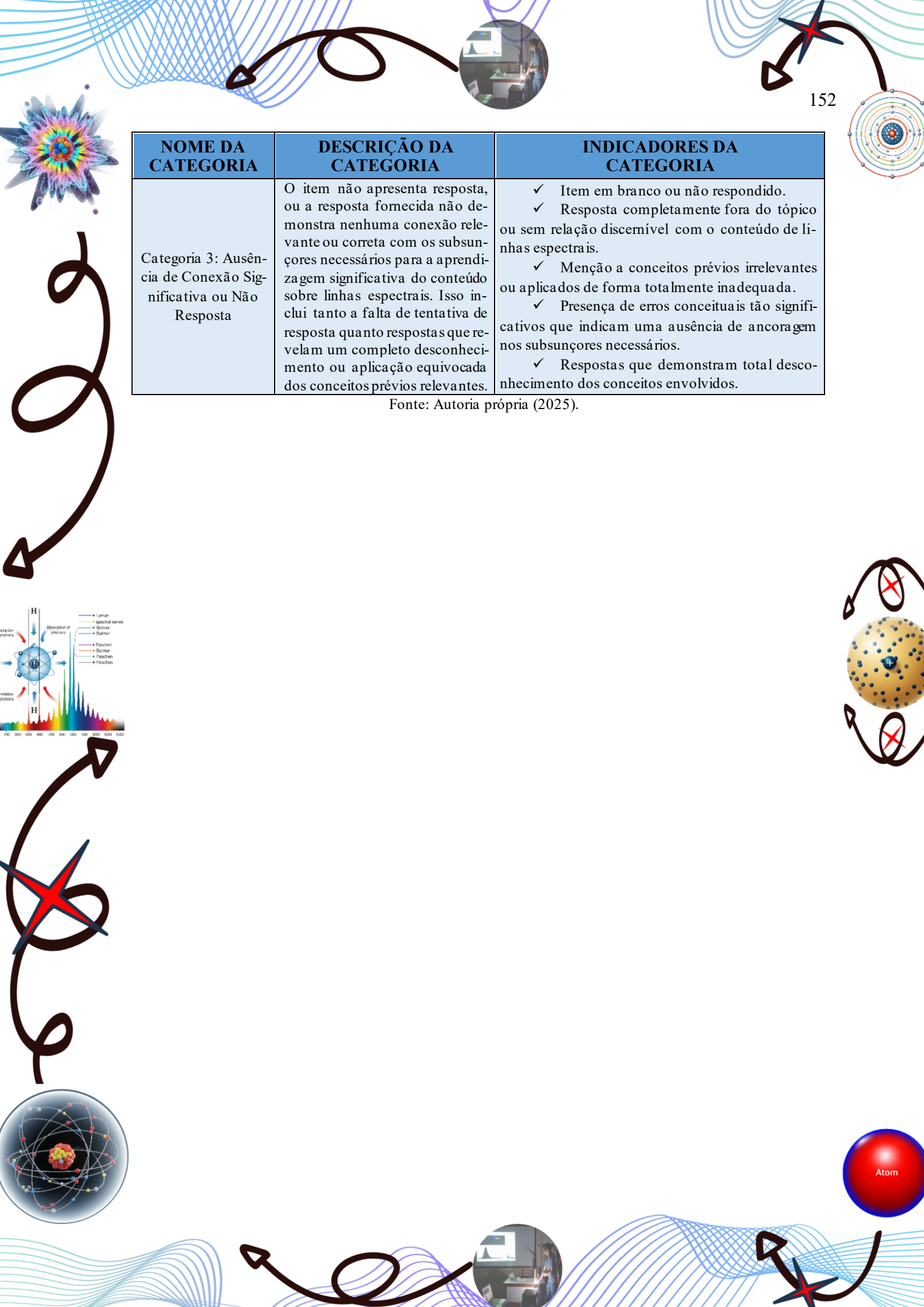
Quadro 5 - Quadro descritivo das categorias de análise.

NOME DA CATEGORIA	DESCRIÇÃO DA CATEGORIA	INDICADORES DA CATEGORIA
Categoria 1: Evidência Robusta de Aprendizagem Significativa	O argumento do discente demonstra uma conexão clara e precisa entre os novos conceitos sobre linhas espectrais e os subsunçores relevantes. Há evidências de assimilação significativa, onde o novo conhecimento é incorporado à estrutura cognitiva de forma não arbitrária e substantiva.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilização correta de conceitos prévios (subsunçores) para explicar fenômenos relacionados às linhas espectrais. ✓ Demonstração de compreensão das relações entre diferentes conceitos (por exemplo, energia, níveis eletrônicos, fótons, comprimentos de onda). ✓ Capacidade de aplicar os conceitos aprendidos em novos contextos ou para resolver problemas relacionados. ✓ Ausência de contradições significativas com os conceitos científicos estabelecidos. ✓ Elaboração de explicações que vão além da mera repetição de informações.
Categoria 2: Evidência Parcial de Aprendizagem Significativa	O argumento do discente apresenta alguma conexão com os subsunçores relevantes, mas essa conexão pode ser superficial, incompleta ou com algumas imprecisões. Pode haver uma compreensão inicial, mas a assimilação significativa ainda não está totalmente consolidada.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menção a subsunçores relevantes, mas sem uma elaboração completa ou conexão clara com os novos conceitos. ✓ Presença de algumas ideias corretas, mas misturadas com equívocos ou simplificações excessivas. ✓ Dificuldade em aplicar os conceitos em novos contextos ou para resolver problemas. ✓ Possíveis inconsistências ou contradições parciais com os conceitos científicos estabelecidos. ✓ Respostas que demonstram uma compreensão fragmentada do conteúdo.



NOME DA CATEGORIA	DESCRIÇÃO DA CATEGORIA	INDICADORES DA CATEGORIA
<p>Categoria 3: Ausência de Conexão Significativa ou Não Resposta</p>	<p>O item não apresenta resposta, ou a resposta fornecida não demonstra nenhuma conexão relevante ou correta com os subsunçores necessários para a aprendizagem significativa do conteúdo sobre linhas espectrais. Isso inclui tanto a falta de tentativa de resposta quanto respostas que revelam um completo desconhecimento ou aplicação equivocada dos conceitos prévios relevantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Item em branco ou não respondido. ✓ Resposta completamente fora do tópico ou sem relação discernível com o conteúdo de linhas espectrais. ✓ Menção a conceitos prévios irrelevantes ou aplicados de forma totalmente inadequada. ✓ Presença de erros conceituais tão significativos que indicam uma ausência de ancoragem nos subsunçores necessários. ✓ Respostas que demonstram total desconhecimento dos conceitos envolvidos.

Fonte: Autoria própria (2025).



15.2 AULA 02: DA ESPECTROSCOPIA AO MODELO ATÔMICO

A proposta das aulas 2 e 3, inicialmente, é criar subsunções nos alunos de forma mecânica, por meio de aulas expositivas.

De acordo com Ausubel, quando não há conhecimento prévio sobre um conceito, o mais geral deve ser introduzido primeiro. Dessa forma, o objetivo principal dessa Sequência Didática (SD) é realizar um experimento de baixo custo de espectroscopia óptica, que será utilizado para relacionar os conceitos da espectroscopia com o Modelo Atômico, promovendo a aprendizagem significativa.

Quadro 6 – Quadro da aula 02

OBJETO DE CONHECIMENTO	COMPETENCIAS GERAIS E HABILIDADES	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE APRENDIZAGEM	AVALIAÇÃO
a) Temperatura e energia térmica; b) Natureza das ondas; características das ondas: Refração, reflexão, difração e absorção da luz; c) Dualidade Onda-Partícula da Luz; d) Contexto histórico da espectroscopia óptica; e) As Leis de Kirchhoff.	EM13CNT301	a) Apresentar a evolução histórica do estudo da luz, em especial da Espectroscopia Óptica destacando as principais contribuições de cientistas desde Isaac Newton a Gustav Kirchhoff; b) Fornecer exemplos históricos e experimentais, como o experimento da dupla fenda de Young, para ilustrar como a luz pode se comportar como onda.	I- Reconhecer a importância histórica do estudo da luz (de Newton a Maxwell); II- Autoavaliar dificuldades na compreensão da dualidade onda-partícula; III- Reconhecer que a luz é uma onda eletromagnética e relacionar as cores com determinado comprimento de onda.	Diagnóstica e Somativa

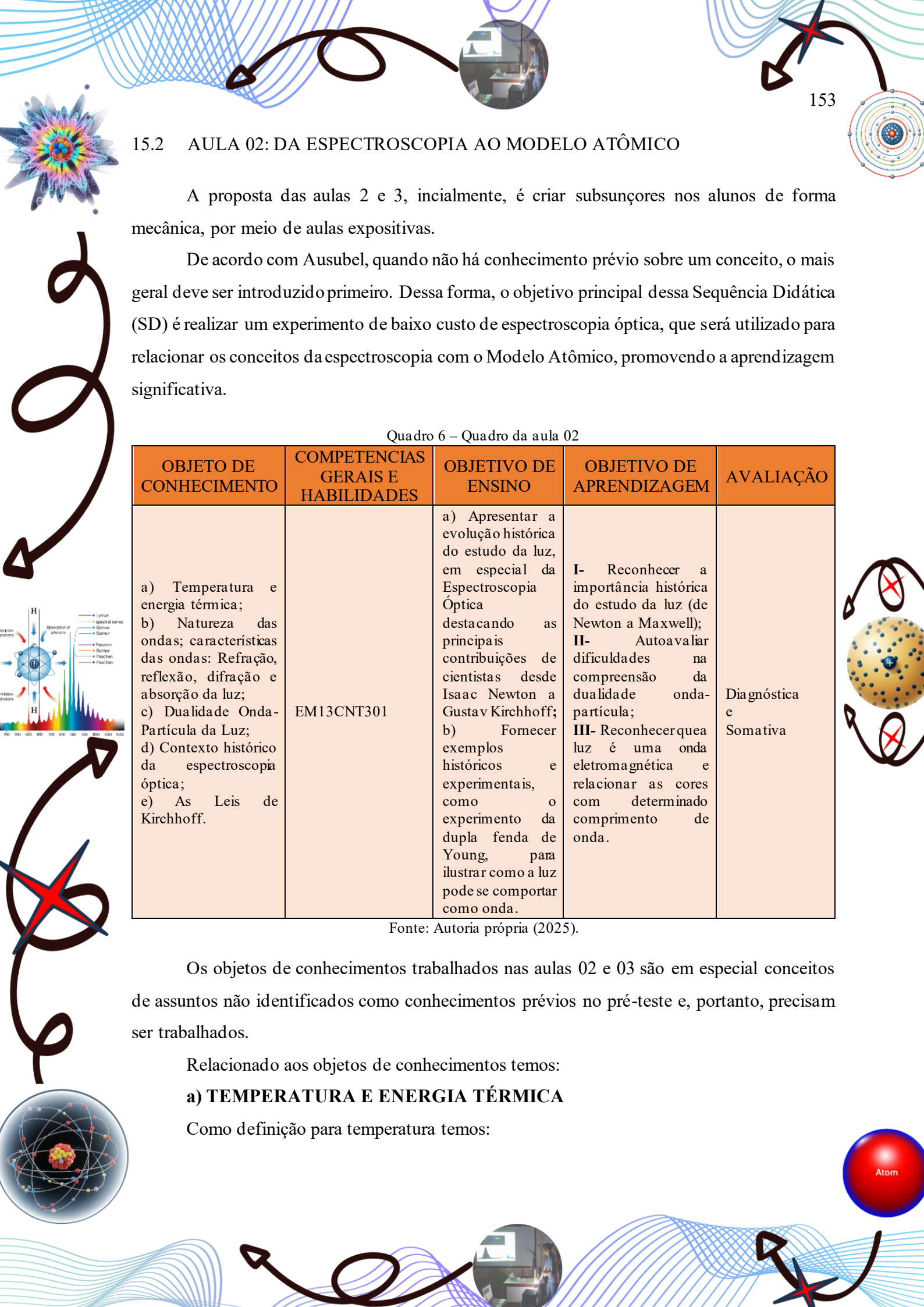
Fonte: A autoria própria (2025).

Os objetos de conhecimentos trabalhados nas aulas 02 e 03 são em especial conceitos de assuntos não identificados como conhecimentos prévios no pré-teste e, portanto, precisam ser trabalhados.

Relacionado aos objetos de conhecimentos temos:

a) TEMPERATURA E ENERGIA TÉRMICA

Como definição para temperatura temos:



"A temperatura é uma medida do nível de agitação molecular de uma substância, sendo uma das propriedades termodinâmicas mais importantes que determinam o comportamento de sistemas físicos" (Resnick; Halliday; Krane, 2002, p. 486).

A energia térmica é a energia relacionada ao movimento das suas partículas microscópicas, como átomos e moléculas.

"A energia térmica de um sistema é a soma das energias cinéticas e potenciais de suas partículas constituintes, e essa energia está diretamente relacionada ao aumento da temperatura do sistema" (Tipler; Mosca, 2007, p. 362).

Fica como sugestão para facilitar a compreensão dos conceitos utilizar o simulador do Phet Colorado (https://phet.colorado.edu/pt_BR/).

b) NATUREZA DAS ONDAS E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

As ondas são fenômenos físicos que envolvem a propagação de uma perturbação ou oscilação que transmite energia de um ponto a outro, sem que haja deslocamento da matéria em si. Elas podem ser mecânicas, quando necessitam de um meio material para se propagar (como o som), ou eletromagnéticas, que podem se propagar no vácuo, como as ondas luminosas.

c) PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS:

a) Amplitude:

"A amplitude de uma onda é uma medida da intensidade da perturbação, com uma maior amplitude significando maior transferência de energia" (Halliday, Resnick, & Walker, 2014, p. 462).

b) Comprimento de Onda (λ):

"O comprimento de onda é uma medida da distância entre pontos em fase em uma onda e está relacionado com a sua frequência e velocidade" (Serway & Jewett, 2018, p. 368).

c) Frequência (f):

A frequência é o número de oscilações ou ciclos que uma onda realiza em um segundo. Medida em hertz (Hz), a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda: quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda (Tipler & Mosca, 2007).

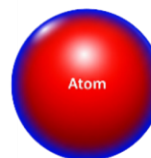
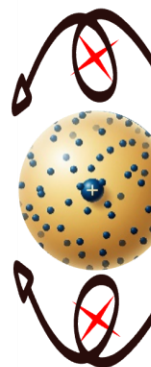
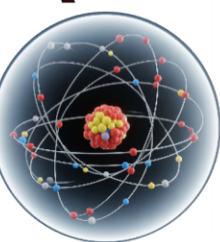
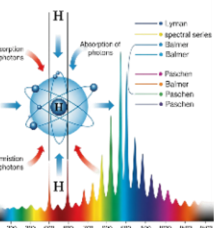
d) Período (T): O período é o tempo necessário para que uma partícula complete uma oscilação e está relacionado com a frequência pela equação" (Halliday, Resnick, & Walker, 2014, p. 460).

e) Velocidade de Propagação (v):

"A velocidade de uma onda em um meio depende das propriedades desse meio e pode ser expressa pela relação" (Serway & Jewett, 2018, p. 370).

$$V = \lambda \cdot F$$

f) Reflexão e Absorção da luz.



“A absorção ocorre quando a luz incide sobre um material e sua energia é convertida em outras formas de energia, como calor. Já a reflexão é a devolução da luz para o meio de origem” (Halliday, Resnick, & Walker, 2014, p. 629).

c) DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DA LUZ

Nesse momento é importante destacar aos estudantes que ao projetar luz monocromática através de duas fendas muito próximas entre si, Thomas Young observou padrões de franjas claras e escuras em um anteparo, resultado da interferência construtiva e destrutiva das ondas luminosas provenientes de cada fenda. Tal observação só poderia ser explicada se a luz apresentasse comportamento ondulatório. Como destaca Feynman (2006, p. 37), “é um experimento que contém o único mistério da mecânica quântica”, referindo-se à sua versão moderna com partículas, mas que desde a sua formulação clássica já introduzia uma ruptura com o modelo corpuscular clássico.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2011), “o padrão de interferência de duas fendas é uma prova inequívoca da natureza ondulatória da luz”, sobretudo porque não pode ser explicado apenas por trajetórias retas como ocorreria em um modelo puramente corpuscular.

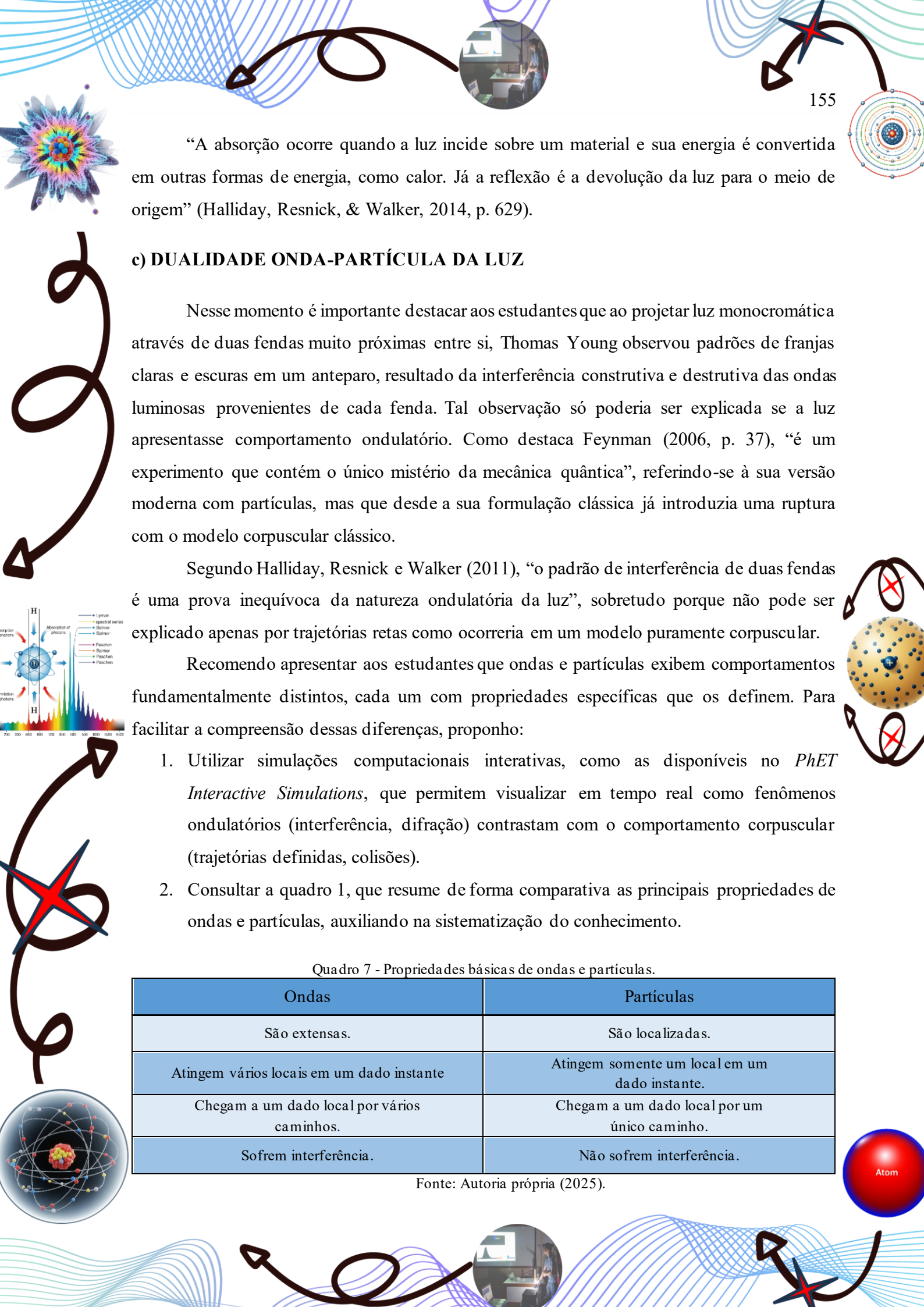
Recomendo apresentar aos estudantes que ondas e partículas exibem comportamentos fundamentalmente distintos, cada um com propriedades específicas que os definem. Para facilitar a compreensão dessas diferenças, proponho:

1. Utilizar simulações computacionais interativas, como as disponíveis no *PhET Interactive Simulations*, que permitem visualizar em tempo real como fenômenos ondulatórios (interferência, difração) contrastam com o comportamento corpuscular (trajetórias definidas, colisões).
2. Consultar a quadro 1, que resume de forma comparativa as principais propriedades de ondas e partículas, auxiliando na sistematização do conhecimento.

Quadro 7 - Propriedades básicas de ondas e partículas.

Ondas	Partículas
São extensas.	São localizadas.
Atingem vários locais em um dado instante	Atingem somente um local em um dado instante.
Chegam a um dado local por vários caminhos.	Chegam a um dado local por um único caminho.
Sofrem interferência.	Não sofrem interferência.

Fonte: Autoria própria (2025).



d) A ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

Um breve resumo.

O estudo da espectroscopia teve um papel fundamental no avanço do conhecimento científico, inicialmente aprofundando a compreensão da natureza da luz e do fenômeno das cores, e posteriormente contribuindo para a identificação de elementos químicos (FILGUEIRAS, 1996).

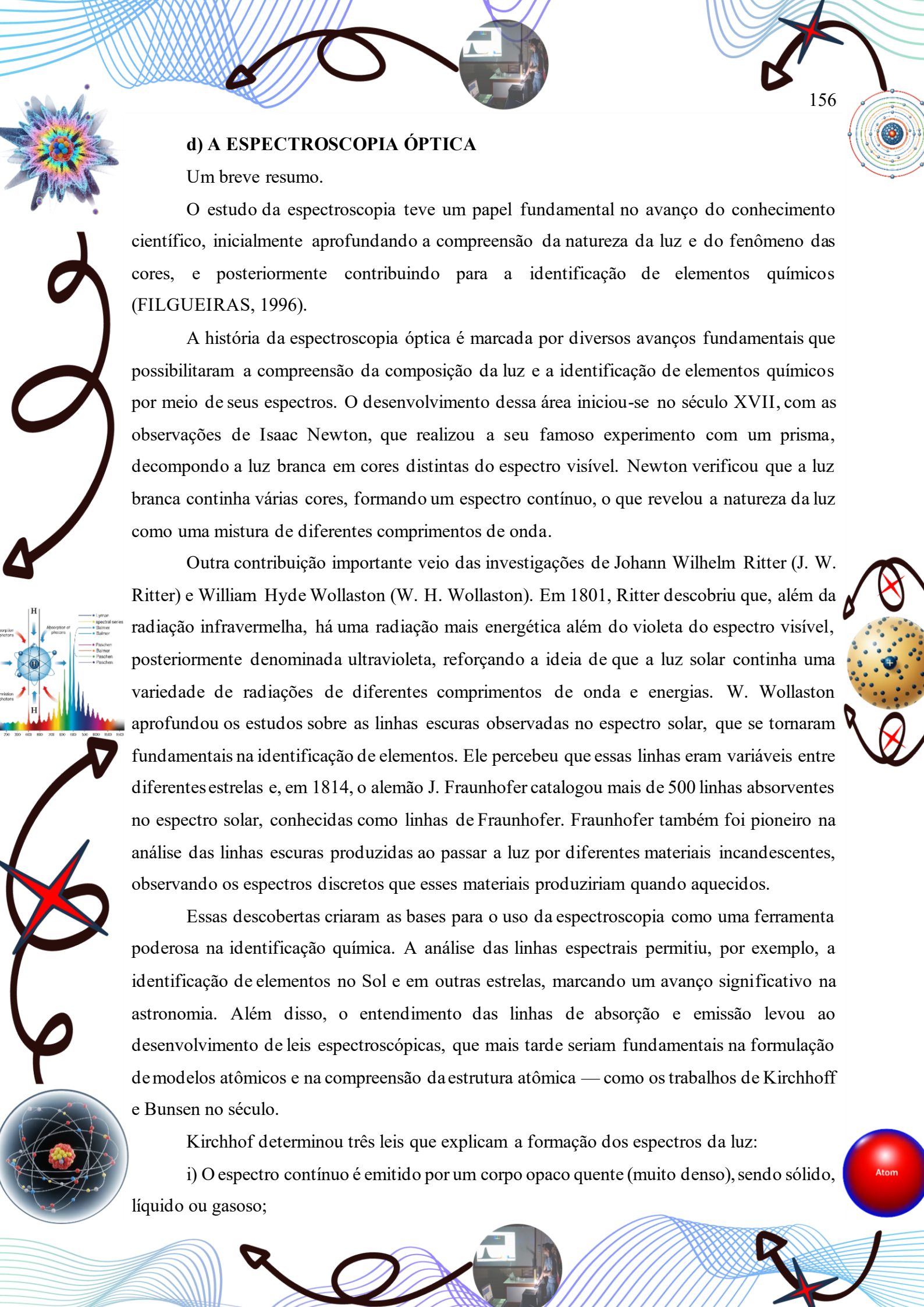
A história da espectroscopia óptica é marcada por diversos avanços fundamentais que possibilitaram a compreensão da composição da luz e a identificação de elementos químicos por meio de seus espectros. O desenvolvimento dessa área iniciou-se no século XVII, com as observações de Isaac Newton, que realizou a seu famoso experimento com um prisma, decompondo a luz branca em cores distintas do espectro visível. Newton verificou que a luz branca continha várias cores, formando um espectro contínuo, o que revelou a natureza da luz como uma mistura de diferentes comprimentos de onda.

Outra contribuição importante veio das investigações de Johann Wilhelm Ritter (J. W. Ritter) e William Hyde Wollaston (W. H. Wollaston). Em 1801, Ritter descobriu que, além da radiação infravermelha, há uma radiação mais energética além do violeta do espectro visível, posteriormente denominada ultravioleta, reforçando a ideia de que a luz solar continha uma variedade de radiações de diferentes comprimentos de onda e energias. W. Wollaston aprofundou os estudos sobre as linhas escuras observadas no espectro solar, que se tornaram fundamentais na identificação de elementos. Ele percebeu que essas linhas eram variáveis entre diferentes estrelas e, em 1814, o alemão J. Fraunhofer catalogou mais de 500 linhas absorventes no espectro solar, conhecidas como linhas de Fraunhofer. Fraunhofer também foi pioneiro na análise das linhas escuras produzidas ao passar a luz por diferentes materiais incandescentes, observando os espectros discretos que esses materiais produziram quando aquecidos.

Essas descobertas criaram as bases para o uso da espectroscopia como uma ferramenta poderosa na identificação química. A análise das linhas espectrais permitiu, por exemplo, a identificação de elementos no Sol e em outras estrelas, marcando um avanço significativo na astronomia. Além disso, o entendimento das linhas de absorção e emissão levou ao desenvolvimento de leis espectroscópicas, que mais tarde seriam fundamentais na formulação de modelos atômicos e na compreensão da estrutura atômica — como os trabalhos de Kirchhoff e Bunsen no século.

Kirchhoff determinou três leis que explicam a formação dos espectros da luz:

i) O espectro contínuo é emitido por um corpo opaco quente (muito denso), sendo sólido, líquido ou gasoso;



- ii) Um gás transparente (pouco denso), produz um espectro de linhas brilhantes (de emissão). O número e a cor dessas linhas dependem dos elementos químicos presentes no gás;
- iii) O espectro de absorção é produzido quando um espectro contínuo passa por um gás a temperatura mais baixa, o gás frio causa a presença de linhas escuras (de absorção).

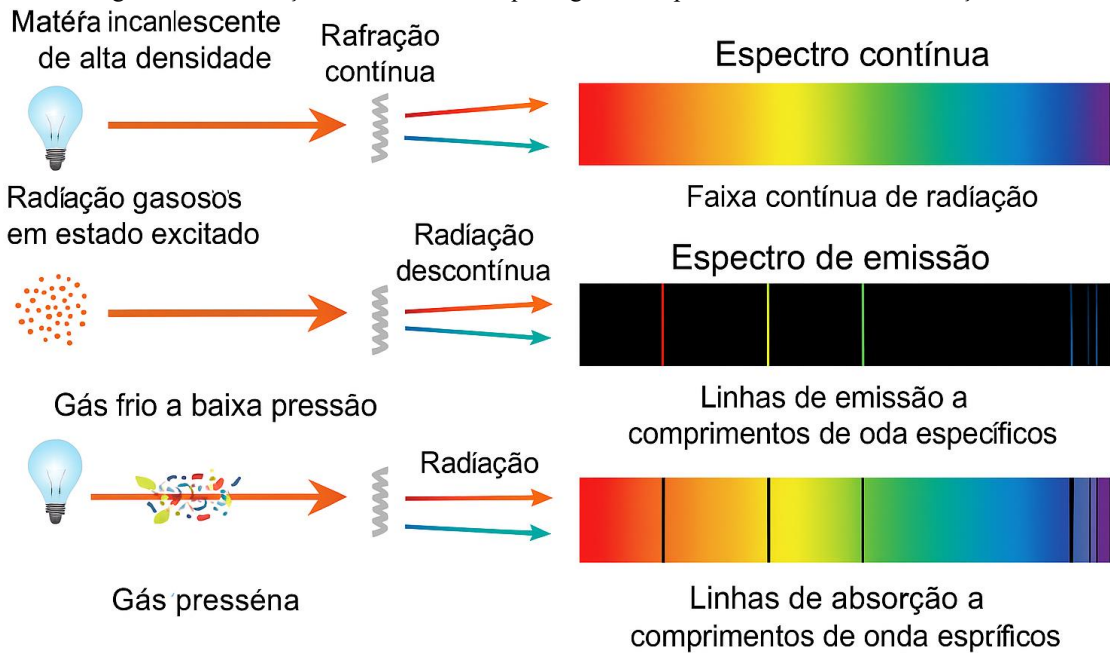
Figura 31 - Figura ilustrativa do Espectroscópio de Bunsen e Kirchhoff.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/UyizeUMBKm8GgmDZ7> . Acesso em 13/06/2025.

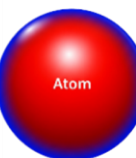
Dessa forma, o espectro de emissão, assim como o número e a posição das suas linhas, está diretamente relacionado aos elementos químicos presentes no gás (Oliveira, 2017). A figura a seguir ilustra o resultado experimental das leis de Kirchhoff.

Figura 32 - Ilustração das leis básicas que regem os espectros de emissão e absorção.



Fonte: <https://images.app.goo.gl/CHGCisbhEum4WBZP9> . Acesso em 13/06/2025.

Após trabalharmos as leis de Kirchhoff da espectroscopia em sala, especialmente a distinção entre espectros contínuos, de emissão e de absorção, a realização do experimento de



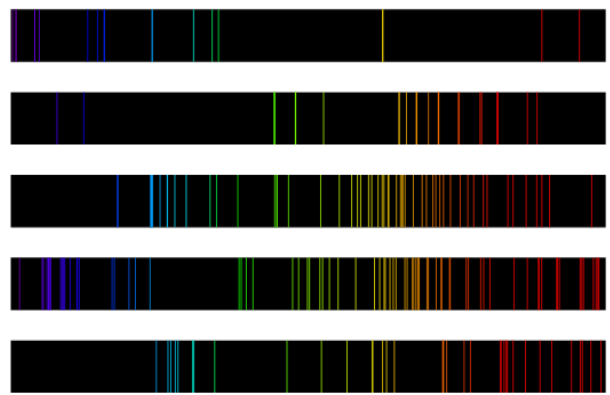
espectroscopia óptica é essencial para consolidar o entendimento dos alunos. Para essa SD, o experimento será aplicado na aula 03 após a implementação dos conceitos básicos necessários. Além disso, ele fortalece a ideia de que os espectros são ‘assinaturas’ únicas dos elementos, o que permite discutir aplicações práticas, como análise de estrelas ou diagnósticos laboratoriais.

Após a conclusão do tópico sobre os espectros da luz, sugerimos que o aluno faça um resumo breve de até 3 minutos, em seguida responda três itens apresentados no pré-teste e o terceiro item é uma provocação para a próxima aula.

São eles:

01- Imagine que vocês estejam em um concerto e queiram identificar os diferentes instrumentos musicais que estão sendo tocados. Cada instrumento produz um som único, certo? Da mesma forma, cada elemento químico produz um "som" único quando seus elétrons mudam de nível de energia. Como os espectros atômicos, que são como as "partituras" desses "sons", podem nos ajudar a identificar quais elementos estão presentes em uma amostra?

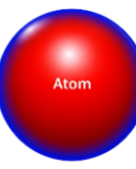
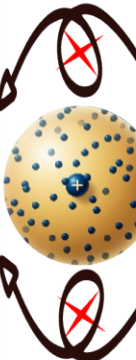
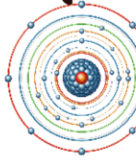
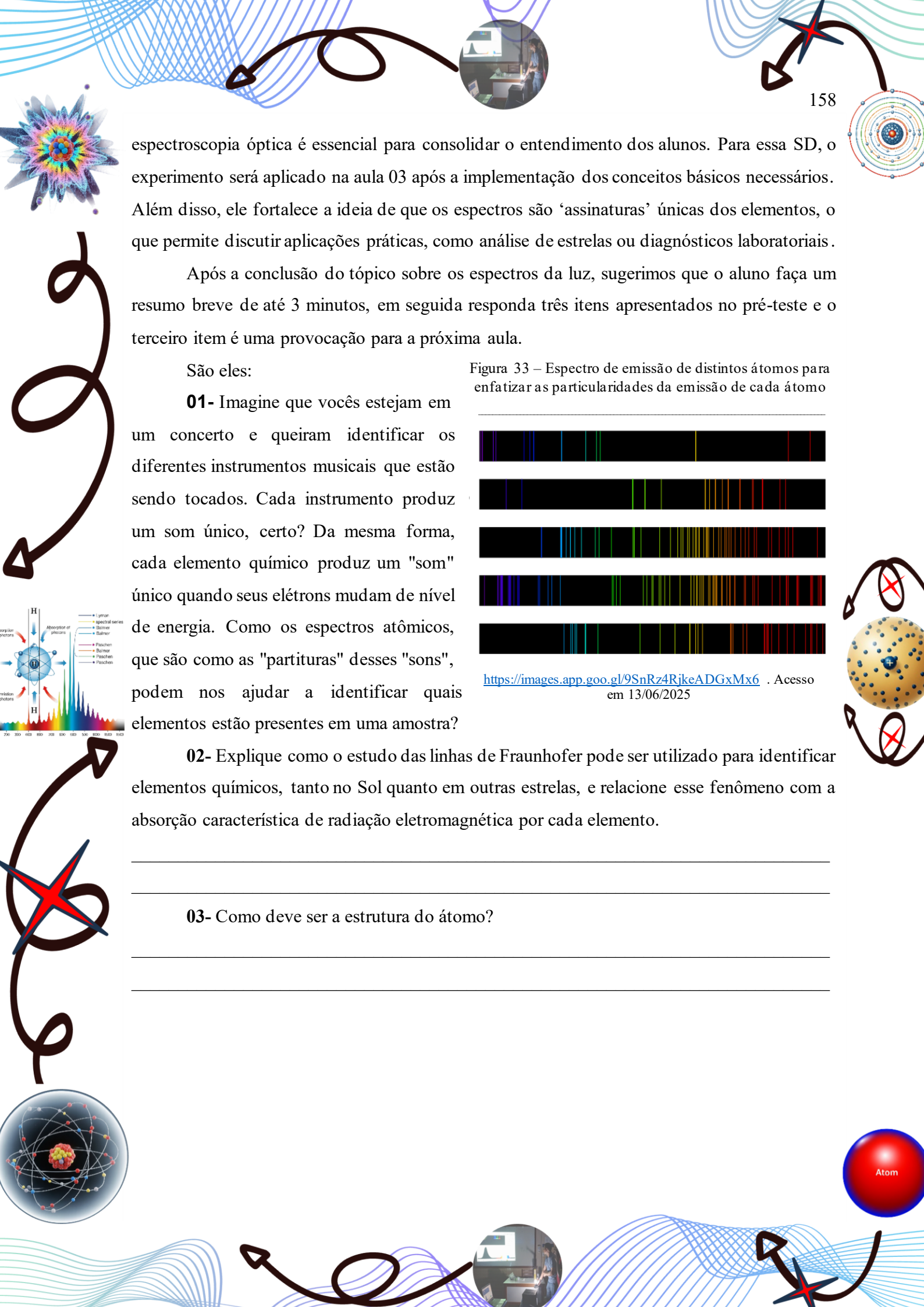
Figura 33 – Espectro de emissão de distintos átomos para enfatizar as particularidades da emissão de cada átomo



<https://images.app.goo.gl/9SnRz4RjkeADGxMx6> . Acesso em 13/06/2025

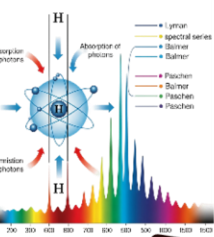
02- Explique como o estudo das linhas de Fraunhofer pode ser utilizado para identificar elementos químicos, tanto no Sol quanto em outras estrelas, e relacione esse fenômeno com a absorção característica de radiação eletromagnética por cada elemento.

03- Como deve ser a estrutura do átomo?



15.3 AULA 03: A INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA E OS MODELOS ATÔMICOS DE DALTON E THOMSON

Quadro 8 - Quadro da aula 03

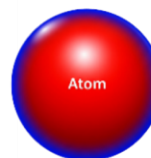
OBJETO DE CONHECIMENTO	HABILIDADES	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE APRENDIZAGEM	AValiação
<p>a) A Luz como onda eletromagnética; b) A lei de Wien; c) O experimento da espectroscopia óptica; d) Os modelos atômicos de Dalton e Thomson.</p> 	EM13CNT301	<p>a) Explicar a natureza da luz como uma onda eletromagnética, abordando as propriedades fundamentais das ondas, como frequência, comprimento de onda, e velocidade de propagação.</p> <p>b) Discutir a importância da Lei de Wien na termodinâmica e no estudo dos corpos negros, relacionando-a com o conceito de radiação térmica;</p> <p>c) Apresentar o modelo atômico de Thomson, conhecido como o modelo "pudim de passas", no qual os elétrons são distribuídos em uma esfera de carga positiva.</p>	<p>a) Relacionar a luz com outras formas de radiação eletromagnética no espectro (como micro-ondas, infravermelho, ultravioleta);</p> <p>b) Aplicar a Lei de Wien para interpretar espectros de radiação e fazer estimativas de temperatura de fontes luminosas.</p> <p>c) Reconhecer como as teorias atômicas evoluíram com o tempo e como essas mudanças refinaram a compreensão da estrutura atômica, preparando a base para modelos mais avançados, como o de Bohr e o modelo quântico.</p>	Diagnóstica e Somativa

Fonte: Autoria própria (2025).

Serão abordados conteúdo do eletromagnetismo, com destaque para a Lei de Wien, e a tentativa de explicar o modelo atômico, destacando como essas teorias evoluíram ao longo do tempo para formar a base da compreensão atual sobre a matéria. A sugestão é que se aplique o experimento antes de explicar sobre os modelos atômicos pois um dos objetivos principais dessa SD é utilizar o experimento como um objeto que demonstra na prática as linhas espectrais e busca de um modelo atômico que o explicasse.

a) A LUZ COMO ONDA ELETROMAGNÉTICA

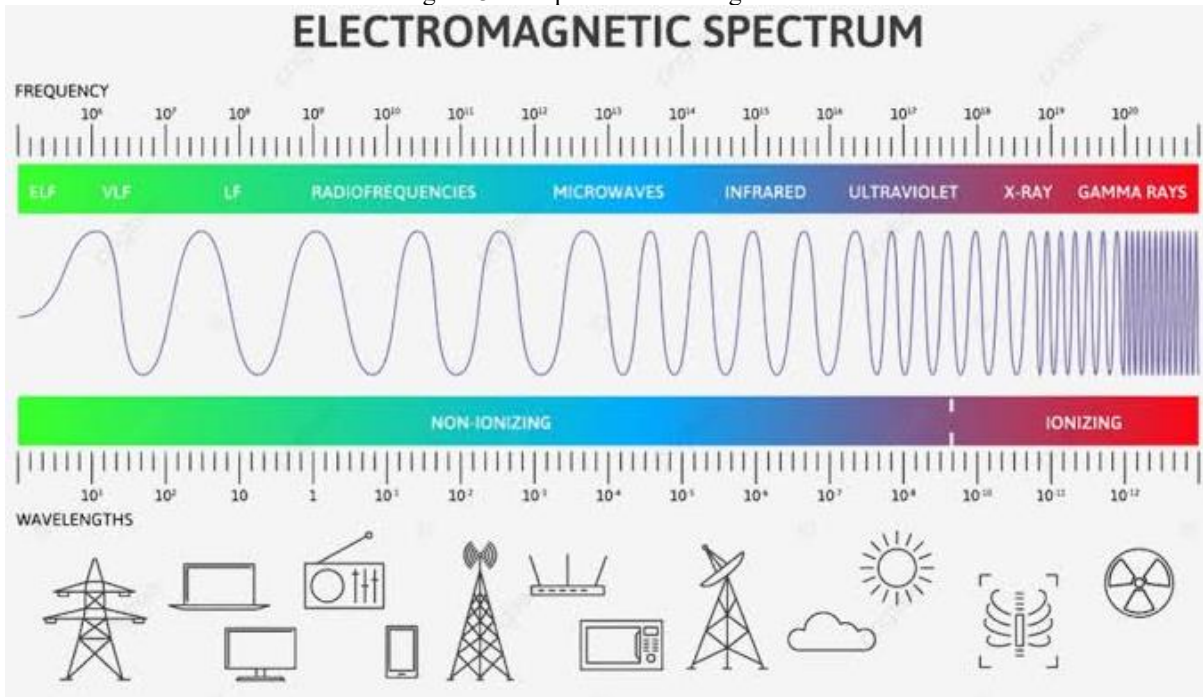
Nesse tópico a sugestão é adotar a relação entre luz e ondas eletromagnéticas, com uma ênfase especial no contexto histórico que possibilita aos estudantes uma compreensão mais profunda e contextualizada do tema. Esse é um conteúdo fundamental no ensino de física, e



acredito que uma abordagem bem estruturada e com base histórica não apenas facilita a compreensão, mas também desperta o interesse dos alunos.

Nesse sentido é importante reforçar aos estudantes que foi com as descobertas de James Clerk Maxwell no século XIX que a visão da luz como onda se consolidou de forma mais robusta. Pois, em sua Teoria Eletromagnética da Luz (1865), Maxwell propôs que a luz era, na verdade, uma onda eletromagnética, composta por campos elétricos e magnéticos oscilantes que se propagam no espaço. Isso revolucionou a física, pois unificou os campos da eletricidade, magnetismo e óptica, mostrando que a luz não era apenas um fenômeno óptico, mas um tipo de onda que compartilhava as mesmas propriedades das ondas eletromagnéticas em geral. Como Maxwell afirmou: "A luz é apenas uma das formas de radiação, que é parte do vasto espectro eletromagnético" (Maxwell, 1865).

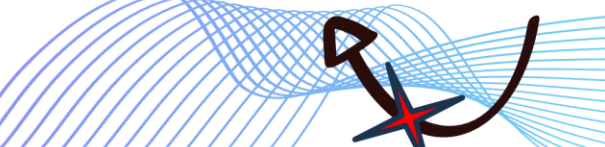
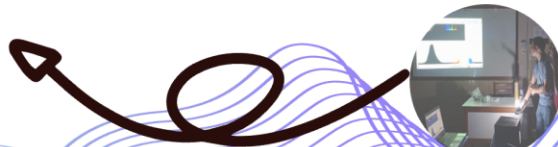
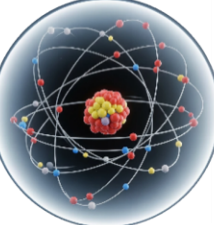
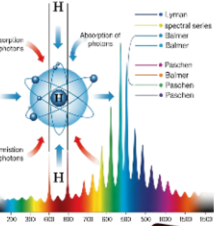
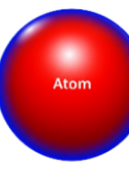
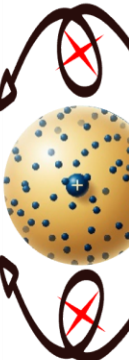
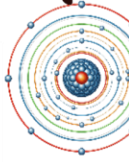
Figura 34 - Espectro Eletromagnético



Fonte: <https://images.app.goo.gl/Nqr8wPZAQOQYXzCG8>. Acessado em 13/06/2025

Para ilustrar melhor utilize gráficos e simulações digitais, no caso sugiro os simuladores do phet colorado (<https://phet.colorado.edu>) para que os alunos visualizem as diferentes frequências e comprimentos de onda que caracterizam essas radiações.

Veja, quando explicamos a radiação eletromagnética apenas com base na teoria ondulatória — como Maxwell descreveu no século XIX — conseguimos interpretar muitos fenômenos, como a propagação da luz, a refração e a difração. No entanto, essa abordagem não é suficiente para explicar por que certos átomos emitem (ou absorvem) radiação apenas em comprimentos de onda específicos, resultando nas famosas linhas espectrais. Assim, os



discentes precisam entender que a limitação reside no fato de que a teoria ondulatória prevê um espectro contínuo, não discreto. Mas as linhas espectrais observadas experimentalmente mostram que a emissão e absorção de energia ocorre em quantidades bem definidas.

Portanto o experimento, bem-sucedido, corrobora para uma boa compreensão da limitação do modelo ondulatório da luz e a busca por um modelo atômico que explicasse as linhas espectrais ou níveis de energia discreta.

b) A LEI DE WIEN.

Para começar, apresente aos alunos a noção básica de radiação térmica. Explique que todos os corpos, independentemente de sua temperatura, emitem radiação eletromagnética. A radiação que um corpo emite depende diretamente de sua temperatura. Por exemplo, uma chama de vela, com temperatura de aproximadamente 1000 K, emite radiação com um pico no infravermelho, enquanto a superfície do Sol, com temperatura de cerca de 5778 K, emite radiação com um pico no visível. Isso é um reflexo da relação entre temperatura e comprimento de onda na radiação emitida, e é justamente o que a Lei de Wien descreve.

A Lei de Wien estabelece que o comprimento de onda no qual ocorre o pico da radiação emitida por um corpo negro (ou seja, o comprimento de onda em que ele emite mais radiação) é inversamente proporcional à temperatura do corpo. A equação que descreve a Lei de Wien é dada por:

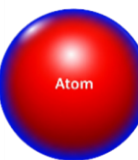
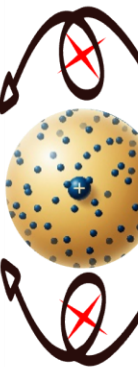
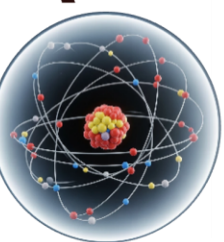
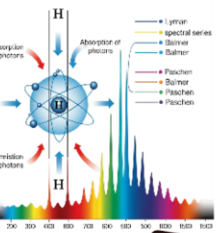
$$\lambda_{\text{máximo}} = \frac{b}{T}$$

onde:

- ✓ $\lambda_{\text{máxima}}$ é o comprimento de onda no qual ocorre o pico de emissão da radiação,
- ✓ T é a temperatura do corpo em Kelvin,
- ✓ b é a constante de Wien, cujo valor é $2,898 \times 10^{-3}$ m.K

A explicação dessa equação é crucial, pois ela nos permite entender que, à medida que a temperatura de um corpo aumenta, o comprimento de onda da radiação máxima emitida diminui. Em outras palavras, um corpo mais quente emite radiação com comprimento de onda menor, o que, por exemplo, faz com que ele emita luz visível ou até radiação de frequências mais altas (como ultravioleta), dependendo da temperatura.

Além disso, ao discutir a Lei de Wien, também faça uma conexão com as estrelas e os corpos celestes. A radiação emitida por estrelas é uma das principais fontes de informação sobre



suas temperaturas. Como mencionado no livro Tipler (2008), a partir da Lei de Wien, podemos calcular a temperatura de uma estrela observando a cor da sua radiação. Estrelas quentes, como as azuis, têm temperaturas superiores a 10.000 K e emitem radiação predominantemente na faixa do ultravioleta e visível. Já estrelas mais frias, como as vermelhas, têm temperaturas mais baixas, abaixo de 4000 K, e emitem radiação no infravermelho.

Por fim, ao concluir a aula, faço uma recapitulação de como a Lei de Wien se aplica tanto a fenômenos naturais quanto a tecnologias modernas, como câmeras infravermelhas, termômetros e dispositivos de medição térmica. Enfatizo que a Lei de Wien não é apenas uma teoria abstrata, mas uma ferramenta poderosa para estudar tudo, desde a radiação de corpos celestes até o funcionamento de dispositivos de consumo diário.

c) O EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA

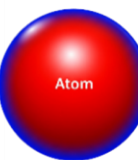
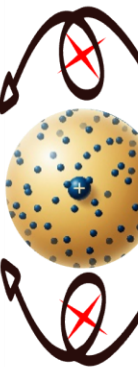
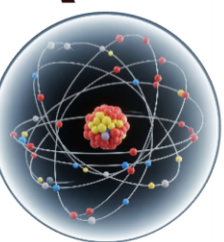
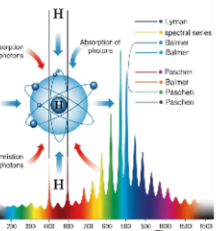
Considerando a organização dos conteúdos a serem abordados, julguei ser pertinente apresentar o experimento nesta aula, pois, com os conceitos básicos já estabelecidos anteriormente, será mais fácil para os discentes compreenderem o espectro da luz emitido por diferentes tipos de materiais. Segundo a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a aprendizagem ocorre de forma mais eficaz quando o novo conhecimento é relacionado com o conhecimento prévio do aluno. No caso, como os conceitos fundamentais já foram trabalhados, os alunos possuem um referencial mais sólido, o que permitirá que construam novos conhecimentos de maneira mais integrada e significativa, ao relacionarem as propriedades da luz com os materiais em estudo.

Nesse sentido, a ideia é que ao realizar o experimento, os alunos possam conectar os conceitos previamente aprendidos com as observações práticas, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura.

Outro fator relevante é que o experimento deve ser construído e testado pelo professor antes de ser apresentado aos estudantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

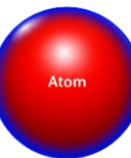
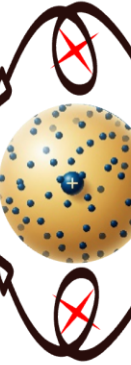
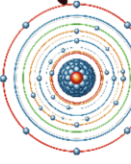
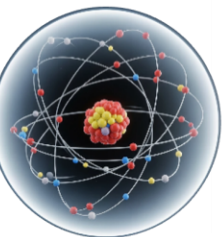
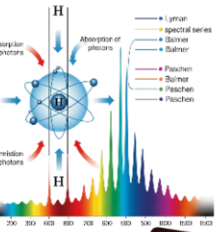
A Figura 1 apresenta o protótipo desenvolvido neste trabalho. As principais componentes do espectrômetro óptico foram montadas em uma caixa de MDF (Medium-Density Fiberboard), que foi revestida com tinta preta. Em um dos lados da caixa foi feita uma fissura e com o auxílio de duas pequenas placas metálicas (lâminas de barbear) foi construída uma fenda de ~ 0.5 mm de abertura. Uma lente convergente, extraída de uma lupa, foi fixada




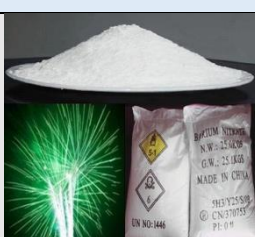





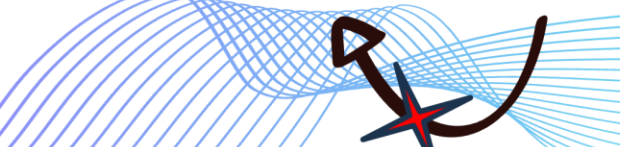
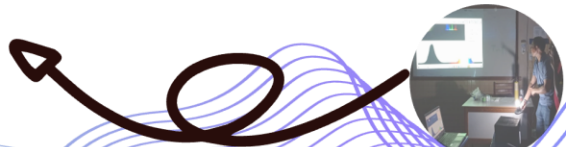
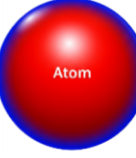
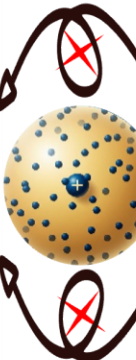
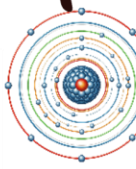
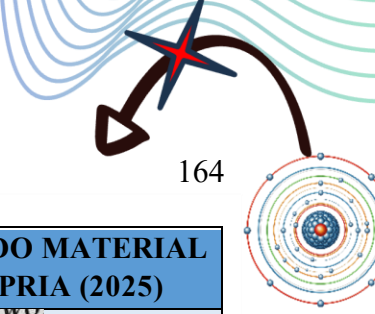
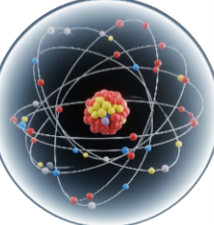
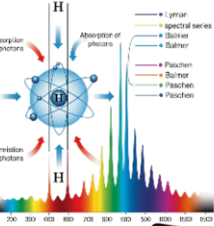
dentro da caixa de forma que seu foco ($f \approx 12 \text{ cm}$) estivesse sobre a fenda de entrada. Para a obtenção dos espectros foi utilizada uma grade de difração comercial de 1000 fendas/mm e uma webcam (Logitech HD 720p), as quais são mostradas no quadro 9.


Quadro 9 - Materiais utilizados

QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	IMAGENS ILUSTRATIVA DO MATERIAL FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2025)
1	Caixa de MDF	
1	Webcam	
1	Rede de difração	
1	Lente de borda fina	
1	Bocal	
1	Maçarico	



QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	IMAGENS ILUSTRATIVA DO MATERIAL FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2025)
1	Lâmina de barbear que funcionou como fendas.	
1	Sal de cozinha (NaCl)	
1	sal de cobre (II) - cloreto de cobre (CuCl ₂)	
1	Nitrato de bário - Ba(NO ₃) ₂	
1	Lâmpada de Led	
1	Medidor de temperatura	
1	Vareta metálica	



QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	IMAGENS ILUSTRATIVA DO MATERIAL FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2025)
1	Computador	

Fonte: Autoria própria (2025).

CONSTRUÇÃO DO ESPECTRÔMETRO

Para montar seu próprio espectrômetro, você precisará:

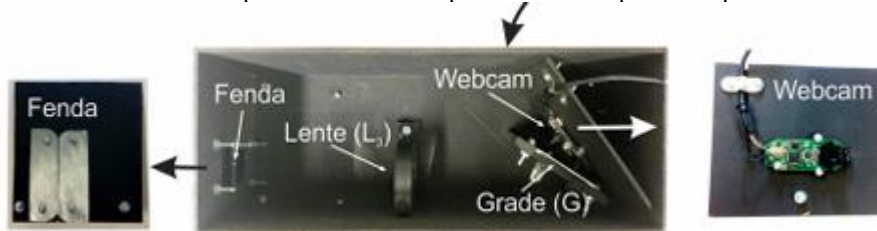
- ✓ Uma webcam USB (preferencialmente com boa sensibilidade e resolução);
- ✓ Uma grade de difração (por exemplo, 1000 linhas/mm);
- ✓ Uma fenda ajustável para entrada de luz;
- ✓ Uma caixa opaca para montagem dos componentes.

Figura 35 – experimento de espectroscopia ótica de baixo custo



Fonte: Autoria própria (2025).

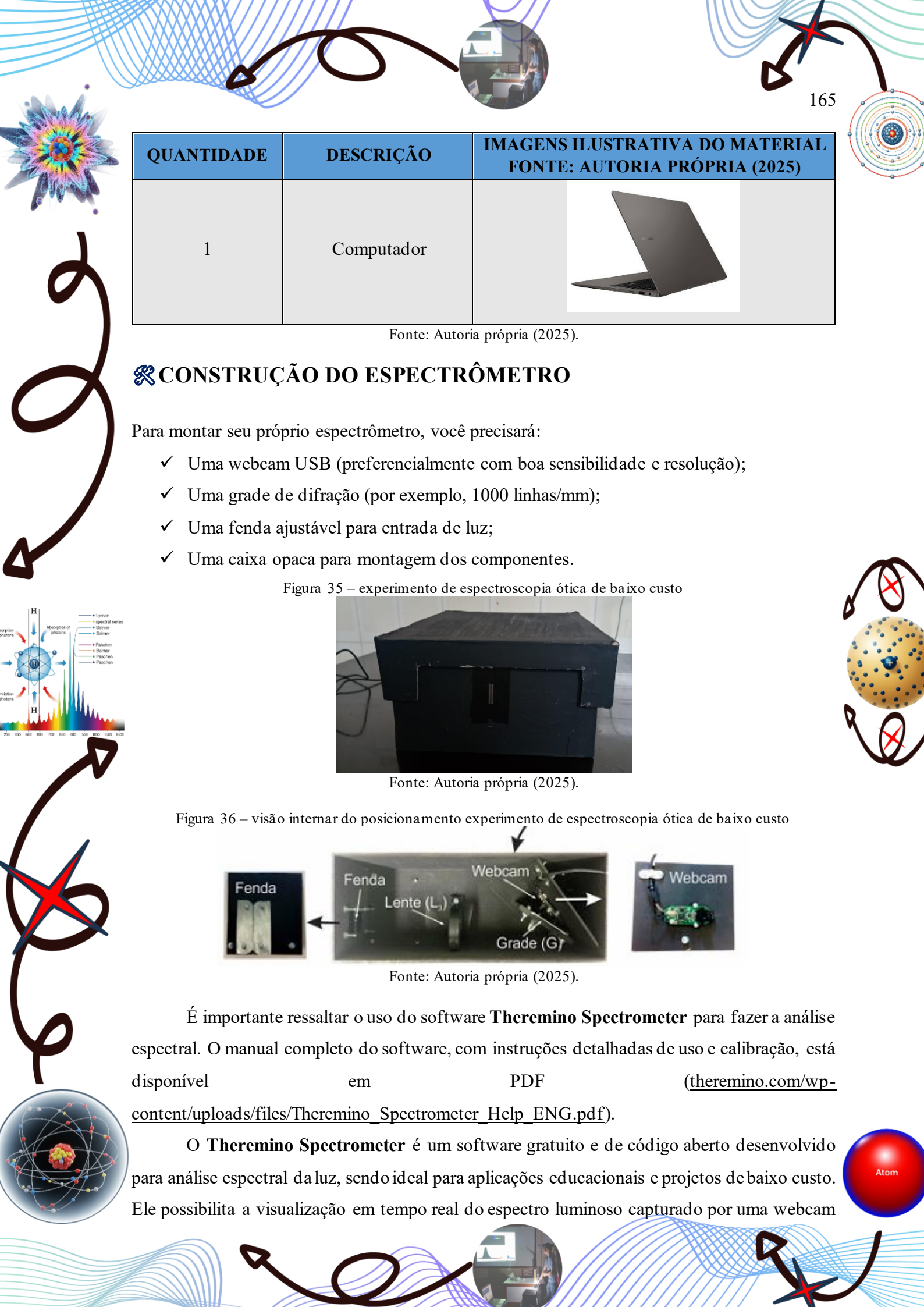
Figura 36 – visão interna do posicionamento experimento de espectroscopia ótica de baixo custo



Fonte: Autoria própria (2025).

É importante ressaltar o uso do software **Theremino Spectrometer** para fazer a análise espectral. O manual completo do software, com instruções detalhadas de uso e calibração, está disponível em PDF ([theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino Spectrometer Help_ENG.pdf](http://theremino.com/wp-content/uploads/files/Theremino_Spectrometer_Help_ENG.pdf)).

O **Theremino Spectrometer** é um software gratuito e de código aberto desenvolvido para análise espectral da luz, sendo ideal para aplicações educacionais e projetos de baixo custo. Ele possibilita a visualização em tempo real do espectro luminoso capturado por uma webcam

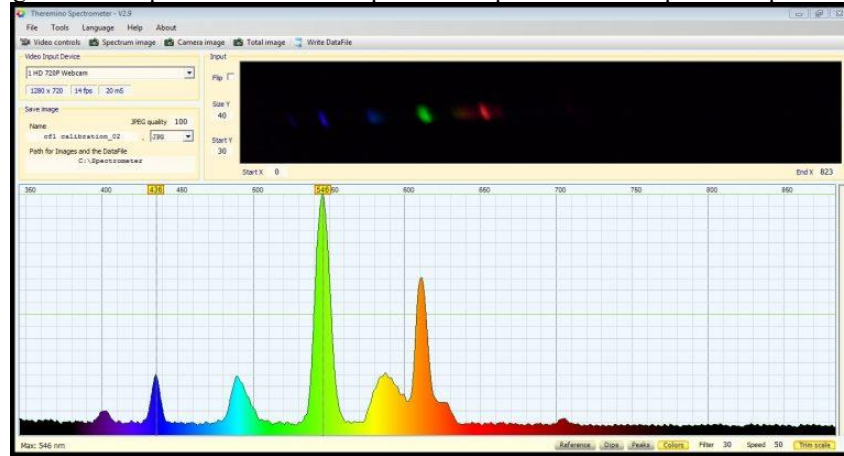


modificada, além de facilitar a identificação de picos espectrais e a calibração com fontes de luz conhecidas.

COMO FUNCIONA

O sistema utiliza uma webcam comum, modificada com um elemento difrativo (como uma grade de difração de 1000 linhas/mm) e um fenda ajustável, montados em uma estrutura opaca. A luz entra pela fenda, é dispersa pela grade e capturada pela câmera, permitindo que o software exiba o espectro correspondente, como pode ser visualizado na **figura 37**.

Figura 37 – Espectro observado a partir do experimento de espectroscopia ótica.



Fonte: Autoria própria (2025).

INSTALAÇÃO E USO DO SOFTWARE THEREMINO SPECTROMETER

#1 Download do software

- ❖ Acesse o site oficial: <https://www.theremino.com/en/downloads/automation#spectrometer;>

- ❖ Baixe o pacote do *Theremino Spectrometer* (formato .ZIP).

#2 Extração dos arquivos

- ❖ Extraia o conteúdo do ZIP para uma pasta dedicada (não exige instalação tradicional).

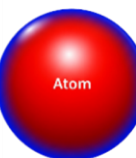
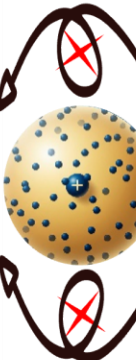
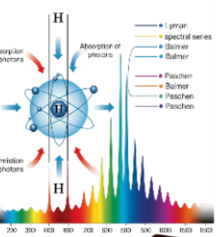
#3 Execução do programa

- ❖ Dentro da pasta extraída, execute o arquivo *Theremino_Spectrometer.exe*;
- ❖ Não é necessário instalar — o programa roda direto do executável.

#4 Conexão da webcam

- ❖ Conecte uma webcam USB que será usada como sensor;
- ❖ O software reconhecerá automaticamente a câmera.

#5 Calibração



- ❖ Abra o software e vá ao menu de **calibração**;
- ❖ Use uma fonte de luz conhecida (ex: lâmpada fluorescente, laser verde ou LED RGB);
- ❖ Ajuste os picos espectrais de acordo com os comprimentos de onda esperados (em *nm*).

#6 Análise espectral

- ❖ Com o sistema calibrado, o software mostrará em tempo real o gráfico espectral da luz incidente;
- ❖ Você poderá analisar fontes diversas (ex: chamas com sais, luz solar, LEDs etc.).

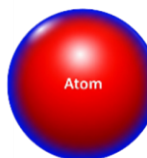
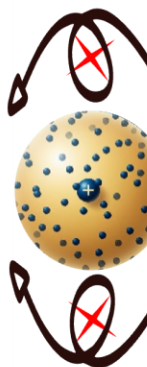
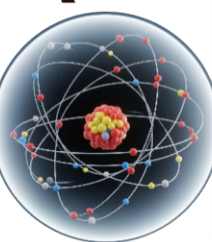
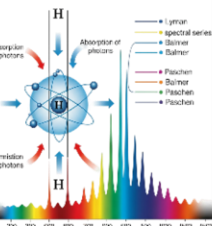
d) OS MODELOS ATÔMICOS DE DALTON E THOMSON

Sabe-se que os físicos do século XIX enfrentavam algumas dificuldades na busca de entender a constituição atômica, considerando as descobertas fundamentais de espectroscopia, eletromagnetismo e as implicações da Lei de Wien. Esse período foi marcado por grandes avanços na física, mas também por muitas questões não resolvidas que desafiaram os cientistas, particularmente em relação à natureza da matéria e à compreensão dos átomos. As descobertas mais avançadas naquela época, como a espectroscopia e o trabalho em eletromagnetismo, trouxeram novos desafios e questões, pois mostravam uma realidade mais complexa e sutil sobre o comportamento da matéria.

É muito importante enfatizar para os estudantes que a espectroscopia de absorção e emissão de luz, ofereceu aos cientistas informações cruciais, mas ao mesmo tempo levantou várias questões. Com os experimentos de espectroscopia realizados por cientistas como Bunsen e Kirchhoff, ficou esclarecido que quando os átomos ou moléculas são aquecidos, eles emitem luz em linhas discretas, e não em um espectro contínuo, como seria esperado por uma onda clássica (Bunsen & Kirchhoff, 1859). Isso indicava que os átomos não se comportavam de forma simples, como as partículas clássicas imaginadas até então.

Sugiro que em sala de aula, ao abordar essas questões com os alunos, é importante destacar como essas descobertas desafiaram o entendimento clássico da matéria e abriram caminho para a revolução quântica. Ao discutir a espectroscopia, por exemplo, podemos questionar por que os átomos emitem luz em linhas discretas, algo que a teoria de ondas de Maxwell não conseguia explicar. O desafio estava em entender como a radiação não era simplesmente uma interação contínua entre as partículas, mas algo mais profundo que envolvia a quantização da energia.

Aqui surgia uma grande dúvida: por que os átomos emitiam ou absorviam luz em linhas específicas e não em um espectro contínuo, como sugeriam as teorias da física clássica, que estavam profundamente influenciadas pela concepção de ondas e pela teoria do eletromagnetismo, que era amplamente aceita na época?



Portanto, para responder essas perguntas era necessário encontrar um modelo para o Átomo.

e) O MODELO ATÔMICO DE DALTON

Ao abordar o conteúdo sobre o modelo atômico de Dalton com seus alunos do ensino médio, começa contextualizando o momento histórico em que a teoria foi proposta, no início do século XIX, e o impacto que ela teve no desenvolvimento da ciência da época. O modelo atômico de Dalton foi um marco importante, sendo a primeira proposta científica a tratar a matéria de forma sistemática como sendo composta por átomos indivisíveis, o que ajudou a solidificar a ideia de que os elementos químicos eram constituídos de partículas fundamentais.

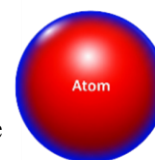
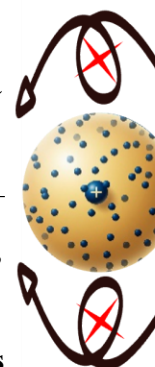
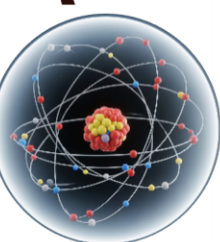
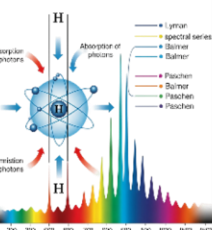
É importante ressaltar que Dalton a sugerir que os átomos de cada elemento eram idênticos entre si, mas distintos dos átomos de outros elementos. Em suas aulas descreve aos alunos que a teoria de Dalton foi formulada a partir das seguintes postulações principais (Dalton, 1803):

1. **Os átomos são partículas indivisíveis** — de acordo com Dalton, a matéria seria composta por átomos, que não poderiam ser criados, destruídos ou divididos em partes menores.
2. **Átomos de um mesmo elemento são idênticos em massa e propriedades** — isso significava que os átomos de um elemento específico teriam características idênticas, diferenciando-se assim dos átomos de outros elementos.
3. **Átomos de elementos diferentes combinam-se em proporções simples e fixas para formar compostos** — essa postulação explicava as reações químicas como sendo resultado da combinação de átomos de diferentes elementos em proporções definidas.

Apesar de sua importância, o modelo atômico de Dalton tinha várias limitações, a principal era que imaginava os átomos como esferas sólidas, indivisíveis, e não havia espaço no modelo para a complexidade que seria descoberta posteriormente. Ele não conseguia explicar fenômenos como a condução de eletricidade em certos materiais, a existência de isótopos (átomos do mesmo elemento com massas diferentes), a natureza interna do átomo e a espectroscopia. Como menciona Halliday et al. (2011), a ideia de que o átomo era uma partícula indivisível foi descartada após a descoberta de partículas subatômicas, como o elétron, no final do século XIX.

e) O MODELOS ATÔMICOS DE THOMSON

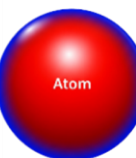
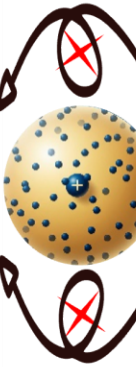
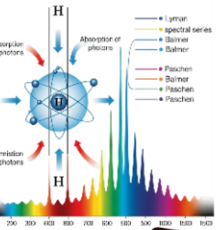
Ao abordarmos os modelos atômicos em sala de aula, é essencial destacarmos as limitações do modelo de Thomson, especialmente no que diz respeito à incapacidade desse



modelo em explicar as linhas espectrais observadas experimentalmente. Como sabemos, o modelo de Thomson, popularmente conhecido como "pudim de passas", propunha que o átomo era uma esfera de carga positiva onde os elétrons estariam distribuídos uniformemente, como pequenas partículas negativas imersas nessa massa positiva. Em suas palavras, a carga positiva estava distribuída por todo o átomo de forma homogênea, e os elétrons estavam fixados nessa matriz positiva, sendo "como passas espalhadas por um pudim" (Thomson, 1897).

Essa noção o modelo, foi um avanço significativo para o entendimento da estrutura atômica da época, pois introduziu a ideia de que o átomo poderia ser dividido em partículas subatômicas, algo até então impensável. Mas a limitação de explicar o espectro discreto foi um dos motivos que impulsionaram a formulação de novos modelos atômicos. O modelo de Bohr, por exemplo, surge justamente para responder à necessidade de explicar por que os átomos apresentam espectros descontínuos.

No final da aula, é recomendável que o professor retome os principais conceitos abordados, incentivando os estudantes a registrarem em suas anotações os conteúdos mais relevantes discutidos.



15.4 AULA 04: O EXPERIMENTO DA ESPECTROSCOPIA ÓPTICA E OS MODELOS ATÔMICOS

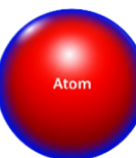
Esta aula assume um papel fundamental dentro da SD, pois os principais conceitos introdutórios (subsunçores) já foram previamente trabalhados com os alunos. Assim, eles estão agora cognitivamente preparados para compreender, de forma mais aprofundada, o modelo atômico de Bohr e, especialmente, os motivos que o tornaram capaz de explicar adequadamente as linhas espectrais observadas nos experimentos.

Quadro 10 - Quadro da aula 04

OBJETO DE CONHECIMENTO	COMPETENCIAS GERAIS E HABILIDADES	OBJETIVO DE ENSINO	OBJETIVO DE APRENDIZAGEM	AValiação
a) Realizar o experimento da espectroscopia óptica; b) O modelo atômico de Rutherford; c) O modelo atômico de Bohr; d) O modelo quântico.	Geral: 01 e 02 Habilidades CNT: EM13CNT301 e EM13CNT103	a) Proporcionar aos alunos a vivência de um experimento prático que permita observar, interpretar e analisar espectros de emissão de diferentes substâncias; b) Introduzir o modelo de Bohr como uma solução para explicar as linhas espectrais do hidrogênio, destacando o conceito de quantização da energia; c) Compreender que os elétrons só podem ocupar níveis de energia bem definidos.	a) Relacionar os espectros de emissão com as transições eletrônicas nos átomos; b) Relacionar as transições entre níveis de energia com a emissão ou absorção de fótons; c) Compreender que os elétrons não ocupam órbitas definidas, mas regiões de probabilidade (orbitais)	Diagnóstica e Somativa

Fonte: Autoria própria (2025)

É importante que esta aula se inicie com os discentes retomando o experimento de espectroscopia óptica apresentado na aula 03, participando ativamente de sua execução e auxiliando o professor no manuseio dos materiais. Essa vivência experimental permite que os estudantes percebam, na prática, a aplicação da Lei de Wien, uma vez que diferentes substâncias emitem luz com picos distintos de comprimento de onda, conforme evidenciado nos gráficos obtidos. Além disso, o experimento reforça a observação de espectros descontínuos, tanto nas



emissões de lâmpadas a gás quanto na queima de sais específicos em maçarico. Como exemplo, pode-se destacar o Nitrato de Bário ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$), que emite luz verde quando aquecido.

Os objetos de conhecimentos para essa são:

O MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD

Sugiro iniciar a aula contextualizando o experimento de Rutherford, conduzido em 1909 por meio do bombardeamento de uma fina lâmina de ouro com partículas alfa. Conforme previa o modelo de Thomson, essas partículas deveriam atravessar a lâmina com mínimas deflexões. No entanto, os resultados foram surpreendentes: embora a maioria das partículas passasse direto, algumas eram desviadas em ângulos significativos e outras até mesmo voltavam. Esse comportamento só poderia ser explicado admitindo que a maior parte da massa do átomo, e toda a sua carga positiva, estava concentrada em uma pequena região central: o núcleo. Dessa forma, nasceu o modelo de Rutherford, que descreve o átomo como composto por um núcleo central positivo, ao redor do qual os elétrons orbitam.

Recomendo que você incentive os estudantes a refletirem sobre o que esperar desse experimento segundo o modelo de Thomson, para que eles próprios percebam a necessidade de revisão conceitual.

Portanto, é igualmente importante abordar as limitações do modelo de Rutherford. Apesar de seu grande avanço ao propor a existência do núcleo atômico, o modelo não explica por que os elétrons que orbitam o núcleo não perdem energia continuamente por radiação eletromagnética, como preveem as leis da eletrodinâmica clássica, e acabam colapsando no núcleo. Mais criticamente ainda, o modelo de Rutherford é incapaz de explicar as linhas espectrais observadas experimentalmente. Dessa forma, a aula não apenas transmite um conteúdo científico relevante, mas também evidencia como a ciência evolui por meio de observações, experimentações e revisões de ideias.

O MODELO ATÔMICO DE BOHR E O QUÂNTICO

Ao ministrar uma aula sobre o modelo atômico de Bohr, o ponto de partida deve ser a análise crítica das falhas do modelo de Rutherford, sobretudo sua incapacidade de explicar a estabilidade dos átomos e a origem das linhas espectrais. A teoria clássica previa que os elétrons, ao girarem em torno do núcleo, perderiam energia continuamente por radiação eletromagnética, levando ao colapso do átomo, algo que, evidentemente, não ocorre. Além disso, não oferecia nenhuma explicação para o espectro descontínuo observado, por exemplo, no hidrogênio.

É nesse cenário que Niels Bohr, em 1913, propõe um modelo revolucionário ao introduzir postulados de quantização da energia. Ele sugere que os elétrons ocupam órbitas estacionárias ao redor do núcleo e só podem transitar entre essas órbitas ao absorver ou emitir um fóton de energia, cuja frequência está relacionada à diferença de energia entre os níveis. Nesse sentido, esse modelo conseguiu explicar com precisão as linhas espectrais do hidrogênio, associando-as a transições eletrônicas entre níveis quantizados.

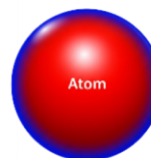
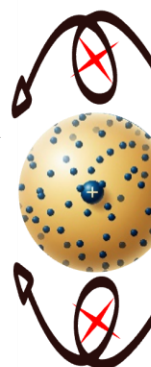
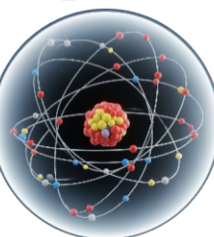
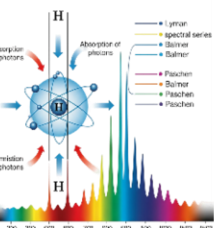
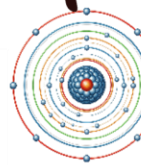
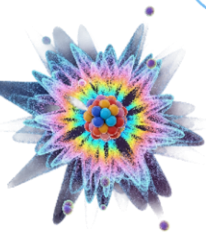
Para tornar essa aula mais efetiva, recomendo que o experimento da espectroscopia óptica seja retomado como recurso prático. A observação de espectros de emissão de diferentes elementos reforça a ideia de que cada átomo possui uma "assinatura luminosa" única, o que pode ser explorado para demonstrar, visualmente, o funcionamento do modelo de Bohr. Ao fazer isso, os alunos relacionam teoria e prática, reconstruindo significados a partir de observações concretas.

Contudo, faz-se igualmente importante apresentar as **limitações do modelo de Bohr**. Apesar de seu sucesso na explicação do espectro do átomo de hidrogênio, o modelo não se mostrou eficaz para descrever **átomos polieletrônicos**. Além disso, a teoria não conseguiu prever a **intensidade das linhas espectrais** ou a **divisão fina** observada em espectros de alta resolução.

Concluindo, a aula sobre o modelo de Bohr deve ser estruturada como uma etapa de transição entre o modelo clássico e o modelo quântico do átomo. Ao reconhecer tanto seus méritos quanto suas limitações, o aluno é conduzido a perceber a ciência como um processo dinâmico de construção e refinamento de ideias.

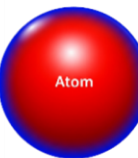
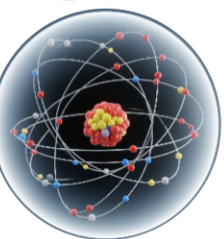
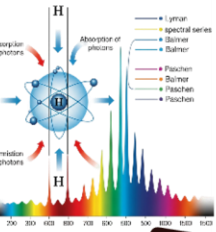
No entanto, a transição para o modelo quântico deve ser apresentada aos alunos como uma resposta não apenas às limitações do modelo de Bohr, mas também como consequência direta dos avanços teóricos promovidos por Schrödinger, Heisenberg, Pauli e outros. Diferente do modelo de Bohr, que ainda concebia os elétrons como partículas em órbitas circulares definidas, o modelo quântico descreve o comportamento dos elétrons em termos de funções de onda, que indicam probabilidades de localização ao redor do núcleo, e não posições determinadas.

Nesse sentido, é essencial destacar a substituição da noção de órbita por orbitais atômicos, regiões do espaço onde a probabilidade de encontrar o elétron é máxima. Esse modelo quântico surge como uma necessidade para expandir a explicação da estrutura eletrônica da matéria. Embora consiga prever com maior precisão os níveis de energia e suas transições, especialmente para o hidrogênio e alguns íons hidrogenoides, ele ainda não fornece previsões exatas para todos os espectros atômicos complexos.



Portanto, no final da aula, é fundamental que os discentes registrem em seus cadernos os principais conceitos abordados sobre espectroscopia e os modelos atômicos discutidos. Entre os termos essenciais que devem ser anotados, destacam-se:

- ✓ Modelo de Rutherford: experimento da lâmina de ouro, estrutura nuclear e suas limitações;
- ✓ Modelo de Bohr: quantização das órbitas eletrônicas e explicação das linhas espectrais do hidrogênio;
- ✓ Modelo Quântico: conceito de orbitais, números quânticos e a natureza probabilística do comportamento eletrônico;
- ✓ Espectroscopia Óptica: leis de Kirchhoff, Lei de Wien e as observações experimentais realizadas durante a aula prática.



15.5 AULA 05: DIAGNÓSTICO DE APRENDIZAGEM PÓS-INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

Quadro 11 - Quadro da aula 05

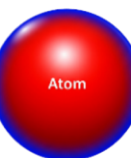
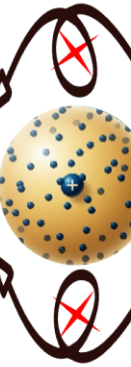
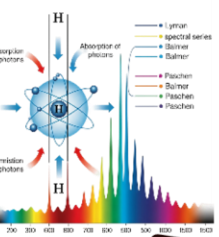
OBJETO DE CONHECIMENTO	HABILIDADES	OBJETIVOS DE ENSINO	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	AValiação
<ul style="list-style-type: none"> • Comparação entre concepções iniciais (pré-teste) e o novo entendimento após o experimento; • Conexão entre a cor observada experimentalmente (em sais aquecidos, por exemplo) e os níveis de energia previstos pela teoria; • Justificativas baseadas na teoria e na observação empírica. 	EM13CNT101; EM13CNT104;	<p>I- Propor atividades que favoreçam a revisão crítica das concepções prévias sobre espectros atômicos e modelos atômicos;</p> <p>II- Relacionar as cores observadas no experimento com os níveis de energia dos elétrons em diferentes elementos, conforme os modelos de Bohr e o modelo quântico;</p> <p>III- Estimular a formulação de explicações conceituais baseadas na integração entre teoria científica e observação experimental.</p>	<p>I- Comparar suas concepções iniciais com os conhecimentos adquiridos após a realização do experimento, identificando mudanças cognitivas;</p> <p>II- Interpretar fenômenos luminosos (cores emitidas por sais aquecidos) à luz dos modelos atômicos, compreendendo a relação entre energia e cor;</p> <p>III- Justificar observações experimentais com base nos modelos atômicos e princípios da espectroscopia óptica, demonstrando compreensão conceitual e argumentação científica.</p>	Diagnóstica e somativa.

Fonte: Autoria própria (2025)

Prezado professor, recomenda-se que, antes da aplicação deste pós-teste, seja realizada uma breve revisão de aproximadamente cinco minutos, retomando os principais conceitos abordados nas aulas anteriores. Essa estratégia visa favorecer a mobilização dos conhecimentos adquiridos, considerando que o objetivo do teste é evidenciar possíveis avanços na aprendizagem dos estudantes.

As 10 questões abordadas neste pós-teste, cuidadosamente elaboradas para refletir os principais conceitos desenvolvidos ao longo da sequência didática, estão listadas a seguir.

01- A Lei de Wien relaciona a cor da luz emitida por um corpo com sua temperatura. Sabendo disso, o que podemos concluir sobre a variação de temperatura entre as partes azulada e avermelhada da chama de uma vela?



- a) A parte azulada tem maior temperatura por emitir luz de menor comprimento de onda.
- b) A parte avermelhada tem maior temperatura porque emite luz de comprimento de onda maior.
- c) A parte azulada e a parte avermelhada têm a mesma temperatura, a cor não é um indicativo de calor.
- d) A cor da chama varia aleatoriamente, não estando relacionada à temperatura.
- e) A parte avermelhada é mais quente porque está mais distante do pavio e recebe mais calor.

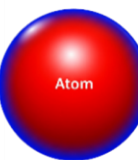
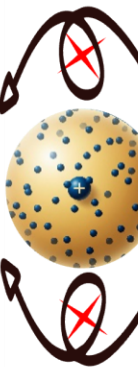
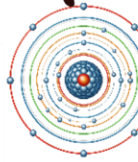
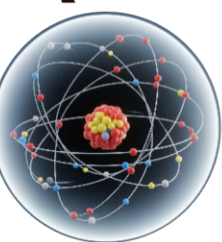
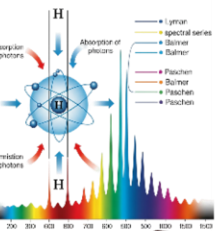
02- Quando a luz atinge uma superfície, parte dela é absorvida e parte é refletida. Qual das alternativas abaixo descreve corretamente o comportamento de superfícies escuras e claras em relação à absorção e reflexão de luz?

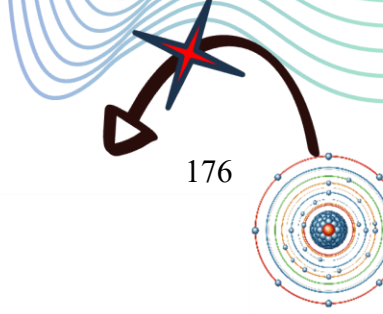
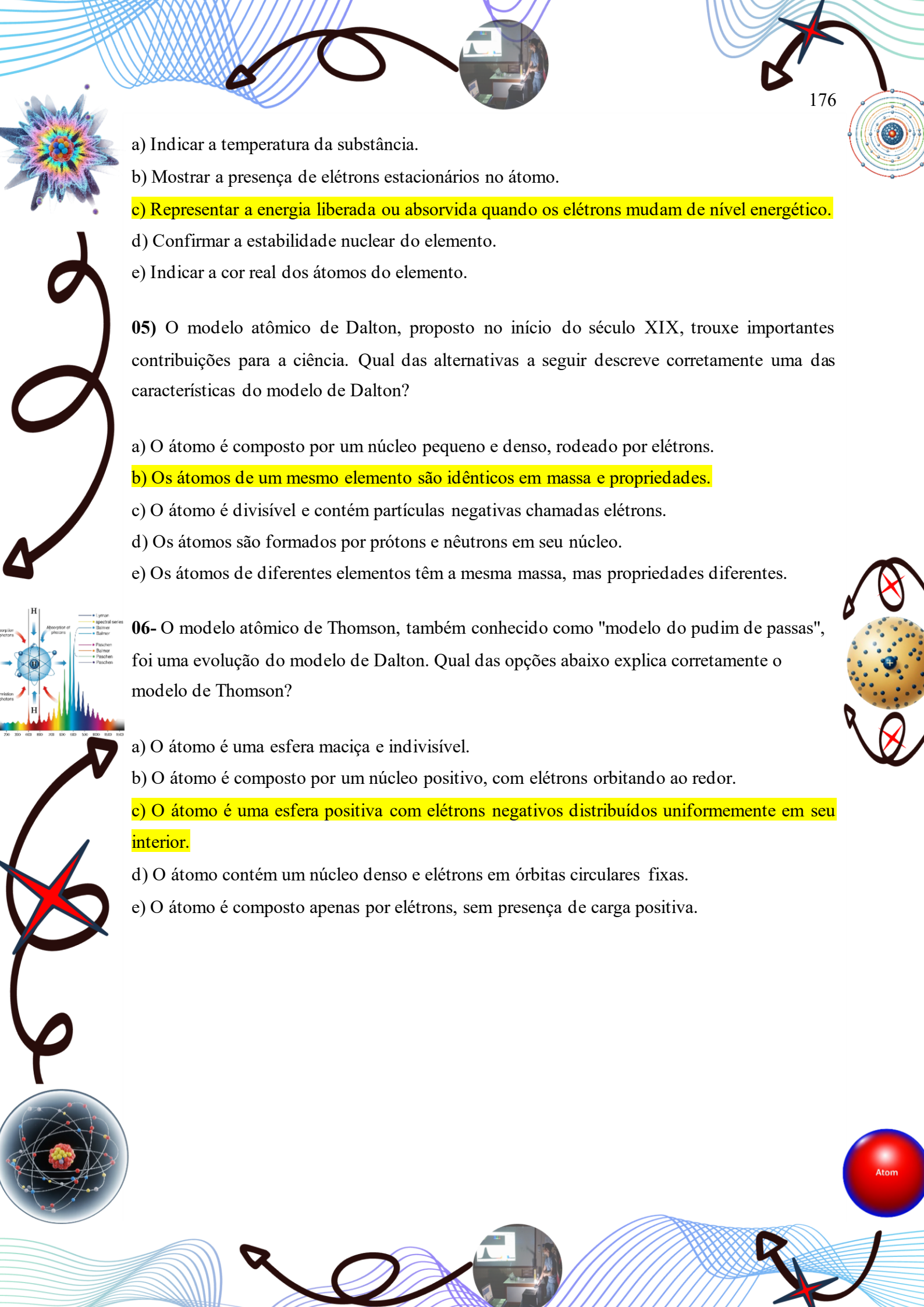
- a) Superfícies escuras refletem mais luz do que superfícies claras.
- b) Superfícies claras absorvem mais luz, enquanto as escuras refletem mais.
- c) Superfícies escuras absorvem mais luz e refletem menos, enquanto superfícies claras refletem mais luz e absorvem menos.
- d) A cor da superfície não influencia a absorção ou reflexão de luz.
- e) Tanto superfícies escuras quanto claras absorvem e refletem a mesma quantidade de luz.

03- Ao observar uma galáxia, notamos que suas estrelas podem ter diferentes cores, como azuladas e avermelhadas. O que a cor dessas estrelas pode nos dizer sobre elas?

- a) As estrelas azuladas de uma galáxia são mais frias, enquanto as avermelhadas são mais quentes.
- b) A cor das estrelas indica suas idades, com as azuladas sendo mais jovens e as avermelhadas mais velhas.
- c) A cor das estrelas reflete a distância delas dentro da galáxia, com as azuladas estando mais próximas do centro.
- d) As estrelas avermelhadas têm mais elementos pesados, enquanto as azuladas têm mais hidrogênio.
- e) A cor das estrelas em uma galáxia é determinada pelo movimento da galáxia, com as azuladas se movendo mais rápido.

04- Qual é o papel das linhas espectrais no espectro de emissão de um elemento no contexto do modelo atômico?

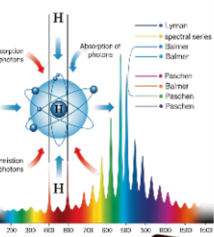




- a) Indicar a temperatura da substância.
- b) Mostrar a presença de elétrons estacionários no átomo.
- c) Representar a energia liberada ou absorvida quando os elétrons mudam de nível energético.**
- d) Confirmar a estabilidade nuclear do elemento.
- e) Indicar a cor real dos átomos do elemento.

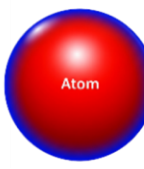
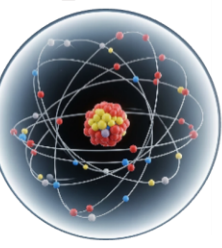
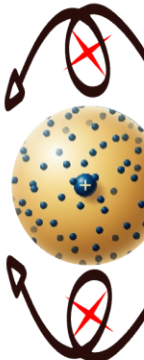
05) O modelo atômico de Dalton, proposto no início do século XIX, trouxe importantes contribuições para a ciência. Qual das alternativas a seguir descreve corretamente uma das características do modelo de Dalton?

- a) O átomo é composto por um núcleo pequeno e denso, rodeado por elétrons.
- b) Os átomos de um mesmo elemento são idênticos em massa e propriedades.**
- c) O átomo é divisível e contém partículas negativas chamadas elétrons.
- d) Os átomos são formados por prótons e nêutrons em seu núcleo.
- e) Os átomos de diferentes elementos têm a mesma massa, mas propriedades diferentes.



06- O modelo atômico de Thomson, também conhecido como "modelo do pudim de passas", foi uma evolução do modelo de Dalton. Qual das opções abaixo explica corretamente o modelo de Thomson?

- a) O átomo é uma esfera maciça e indivisível.
- b) O átomo é composto por um núcleo positivo, com elétrons orbitando ao redor.
- c) O átomo é uma esfera positiva com elétrons negativos distribuídos uniformemente em seu interior.**
- d) O átomo contém um núcleo denso e elétrons em órbitas circulares fixas.
- e) O átomo é composto apenas por elétrons, sem presença de carga positiva.



15.5.1 Análise dos distratores de cada item

Esta seção tem como objetivo principal auxiliar professores-pesquisadores na comunicação dos resultados da aplicação deste produto. Para isso, detalharemos como os **distratores** de cada item podem ser analisados para identificar **indícios de aprendizagem** dos estudantes. Nosso foco é proporcionar uma leitura fluida e coerente, oferecendo insights valiosos sobre o que pode ser inferido a partir das escolhas dos alunos.

I. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 01

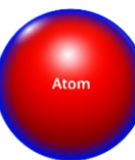
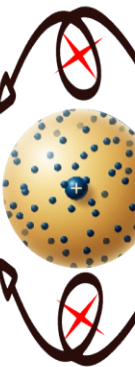
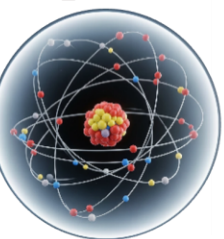
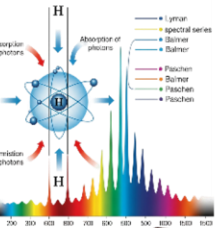
A alternativa b) sugere uma confusão direta com a proporcionalidade da Lei de Wien. Indica que o aluno pode associar a "maior" (temperatura) com o "maior" (comprimento de onda), sem compreender a relação de inversão de proporcionalidade entre eles. Revela uma dificuldade em aplicar o conceito de que "quanto menor o comprimento de onda, maior a temperatura".

A alternativa c) e d), apontam para uma incompreensão fundamental da Lei de Wien, que estabelece justamente a relação entre a cor (comprimento de onda da luz emitida) e a temperatura de um corpo. O aluno pode não ter internalizado que a radiação térmica emitida por um corpo quente depende diretamente de sua temperatura, e que essa radiação se manifesta em cores distintas.

A alternativa e) indica uma tentativa de justificar a temperatura com base em um senso comum ou em fatores externos (distância do pavio e "receber mais calor"), em vez de aplicar um princípio físico (Lei de Wien). Revelando que o aluno não está utilizando o conhecimento científico específico para a análise, mas sim observações empíricas sem o embasamento teórico correto.

II. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 02

A alternativa a) é um distrator que revela uma inversão completa da relação entre cor e temperatura, conforme a Lei de Wien. Indica que o aluno pode estar associando o vermelho ao "quente" de uma chama (como no dia a dia, onde a parte vermelha da brasa é quente, embora menos que a azul), em vez de compreender que a cor azul indica temperaturas mais elevadas em objetos celestes. A explicação aponta que estrelas azuladas são mais quentes, e avermelhadas são mais frias.



A alternativa c) e e) são distratores que sugerem que o aluno está correlacionando a cor das estrelas com conceitos astrofísicos válidos (distância, movimento), mas de forma incorreta ou em um contexto que não é o principal indicado pela cor. A cor está relacionada primariamente à temperatura e, indiretamente, à idade. O erro de compreensão aqui reside em não priorizar a relação fundamental entre cor e temperatura/idade da estrela.

A alternativa d) desvia o foco da relação direta entre cor, temperatura e idade, que é o ponto principal do item. A incompreensão reside em não identificar a resposta mais direta e fundamental sobre o que a cor de uma estrela indica no contexto dado.

III. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 03

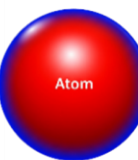
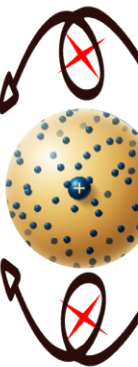
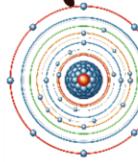
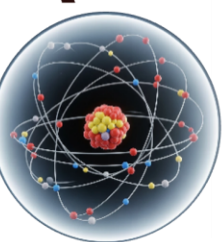
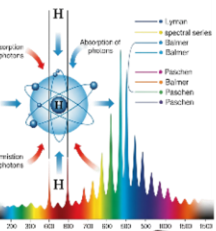
As alternativas a) e b) são distratores que demonstram uma inversão do conceito fundamental de absorção e reflexão de luz por superfícies de cores diferentes. O aluno pode estar com uma concepção alternativa de que "escuro" está associado a "refletir" ou "claro" a "absorver", contrariando o princípio de que objetos escuros absorvem a maior parte da luz e refletem pouco, enquanto objetos claros refletem a maior parte e absorvem pouco.

Os distratores d) e e) revelam uma falta completa de compreensão sobre a interação entre luz e matéria em termos de cor. Sugerem que o aluno não reconhece o papel da cor na determinação da capacidade de absorção ou reflexão, que é um princípio básico da física da luz e do calor. Indica que o aluno não compreende, por exemplo, por que roupas escuras esquentam mais no sol.

IV. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 04

O distrator a) indica que o aluno está associando as Leis de Kirchhoff (que se aplicam à espectroscopia) de forma simplista à cor visível e temperatura, em vez de seu uso mais complexo na identificação de substâncias. A compreensão do aluno pode estar limitada à "cor" como percepção visual, e não como um espectro de absorção/emissão para análise química.

A alternativa c) revela uma incompreensão sobre a especificidade das substâncias na absorção de luz. O ponto-chave da espectroscopia é justamente que cada substância absorve luz em comprimentos de onda específicos, permitindo sua identificação. A escolha deste distrator sugere que o aluno não entendeu o princípio da "assinatura" espectral de cada composto.



Os distratores d) e e) indicam uma limitação do conhecimento do aluno sobre a abrangência e aplicação da espectroscopia na medicina. Demonstram que o aluno não compreende que as leis de Kirchhoff são amplamente aplicáveis à interação da luz com qualquer matéria (sólida, líquida ou gasosa) e que a espectroscopia é uma ferramenta valiosa e não invasiva em diagnósticos clínicos.

V. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 05

As alternativas a), c), d) e e) são distratores que indicam uma confusão entre os diferentes modelos atômicos (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr) ou uma compreensão deficiente sobre a evolução histórica da teoria atômica. O modelo de Dalton é o mais antigo e simplista ("bola de bilhar"), onde o átomo é indivisível e não contém partículas subatômicas nem um núcleo. A escolha dessas opções revela que o aluno atribui características de modelos posteriores (Thomson com elétrons, Rutherford com núcleo, modelos com prótons/nêutrons) ao modelo de Dalton. O distrator e) também revela uma incompreensão direta do postulado de Dalton de que átomos de diferentes elementos possuem massas diferentes.

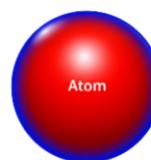
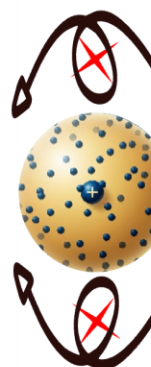
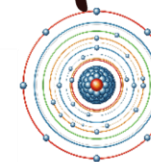
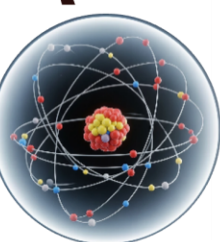
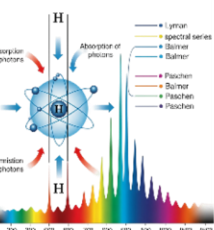
VI. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 06

O distrator a) mostrando que o aluno pode estar confundindo os modelos ou não compreendeu o avanço que Thomson trouxe com a descoberta do elétron e a divisibilidade do átomo.

As alternativas b) e d) são distratores que apontam para uma confusão com os modelos atômicos posteriores, como o de Rutherford (núcleo) e Bohr (órbitas fixas/níveis de energia). A principal contribuição de Thomson foi a ideia de uma esfera positiva com elétrons incrustados, não um núcleo.

Por fim, o distrator e) indica uma incompreensão da neutralidade elétrica do átomo e da necessidade de uma carga positiva para contrabalançar os elétrons, que foi um ponto-chave no modelo de Thomson ("pudim de passas").

VII. ANÁLISE DOS DISTRATORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 07



O distrator a) representa uma inversão da observação principal do experimento de Rutherford. O fato de a maioria das partículas ter atravessado a folha foi a evidência crucial para o átomo ser majoritariamente vazio. A reflexão de poucas partículas é que indicou o núcleo denso. A escolha desta opção revela uma interpretação errônea dos resultados experimentais.

A alternativa c) apresenta dois erros: a quantidade de desvio (nem todas foram desviadas) e a natureza da carga do núcleo. As partículas alfas são positivas e foram desviadas (ou ricochetearam) por um núcleo também positivo, devido à repulsão de cargas iguais. Indica uma incompreensão sobre as interações de cargas elétricas e a interpretação dos desvios.

O distrator d) sugere um entendimento equivocado da interação das partículas alfa com o núcleo. Elas foram repelidas, não capturadas, o que confirmou a carga positiva do núcleo e sua densidade.

O distrator e) mostra uma confusão total sobre a localização das partículas subatômicas no modelo de Rutherford. Os elétrons orbitam o núcleo, e os prótons estão no núcleo.

VIII. ANÁLISE DOS DISTRADORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 08

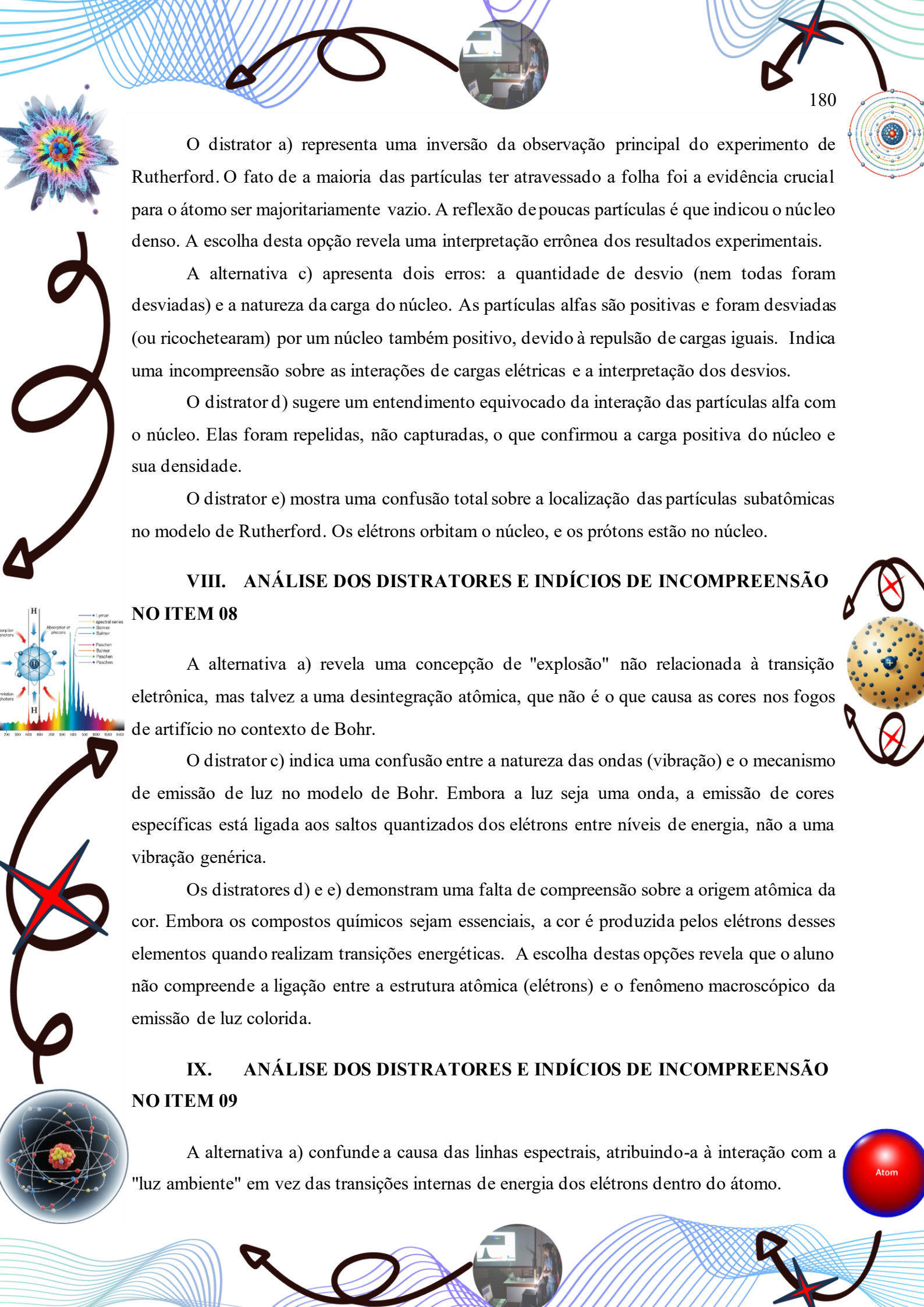
A alternativa a) revela uma concepção de "explosão" não relacionada à transição eletrônica, mas talvez a uma desintegração atômica, que não é o que causa as cores nos fogos de artifício no contexto de Bohr.

O distrator c) indica uma confusão entre a natureza das ondas (vibração) e o mecanismo de emissão de luz no modelo de Bohr. Embora a luz seja uma onda, a emissão de cores específicas está ligada aos saltos quantizados dos elétrons entre níveis de energia, não a uma vibração genérica.

Os distratores d) e e) demonstram uma falta de compreensão sobre a origem atômica da cor. Embora os compostos químicos sejam essenciais, a cor é produzida pelos elétrons desses elementos quando realizam transições energéticas. A escolha destas opções revela que o aluno não compreende a ligação entre a estrutura atômica (elétrons) e o fenômeno macroscópico da emissão de luz colorida.

IX. ANÁLISE DOS DISTRADORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 09

A alternativa a) confunde a causa das linhas espectrais, atribuindo-a à interação com a "luz ambiente" em vez das transições internas de energia dos elétrons dentro do átomo.



Os distrator c) indica que o aluno está correlacionando as linhas espectrais com o movimento atômico (possivelmente pensando em efeito Doppler, mas fora de contexto), e negando o papel central dos elétrons, que é o cerne do modelo quântico.

A alternativa d) é um distrator que revela uma separação incorreta entre estrutura atômica e propriedades químicas. As propriedades químicas decorrem da estrutura atômica e, em particular, da configuração eletrônica, que é o que gera as linhas espectrais.

A alternativa e) evidencia uma incompreensão dos alunos embora colisões possam ocorrer, as linhas espectrais características de um elemento são predominantemente devido às transições eletrônicas dentro de um único átomo, não primariamente a colisões entre elétrons de átomos diferentes.

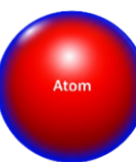
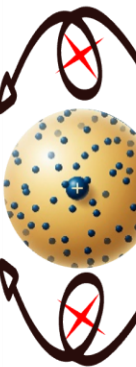
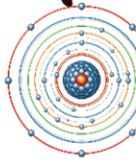
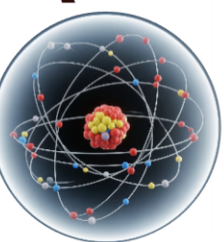
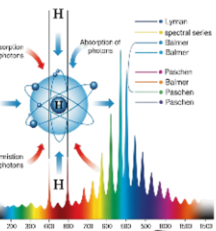
X. ANÁLISE DOS DISTRADORES E INDÍCIOS DE INCOMPREENSÃO NO ITEM 10

O distrator a) evidenciar que embora a temperatura influencie a intensidade das linhas espectrais e a excitação dos elétrons, o papel principal das linhas não é indicar a temperatura, mas sim a identidade do elemento e as energias envolvidas nas transições eletrônicas. O aluno pode estar confundindo com a Lei de Wien, onde a cor/comprimento de onda está ligada à temperatura de um corpo quente.

O distrator b) revela uma incompreensão sobre a dinâmica dos elétrons. As linhas espectrais surgem das mudanças (transições) dos elétrons entre níveis, e não de sua estaticidade.

A alternativa d) deste distrator desvia o foco para o núcleo, quando as linhas espectrais estão relacionadas principalmente às transições eletrônicas, que ocorrem na eletrosfera e não no núcleo. Indica uma confusão entre fenômenos eletrônicos e nucleares.

A alternativa e) evidencia que embora as linhas espectrais resultam em luz de cores específicas, seu papel é muito mais do que "indicar a cor real dos átomos". Elas são "impressões digitais" que revelam as energias quantizadas e permitem a identificação de substâncias e a composição de corpos celestes. O distrator aponta para uma visão muito simplista e menos científica do conceito.



16 PROJEÇÕES E DESAFIOS FUTUROS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática desenvolvida apresenta diversas potencialidades para a melhoria da aprendizagem dos alunos do Ensino Médio, especialmente na compreensão dos conceitos da Física Moderna e Contemporânea. Contudo, também enfrenta algumas limitações inerentes ao contexto educacional e às condições de aplicação.

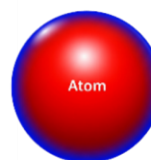
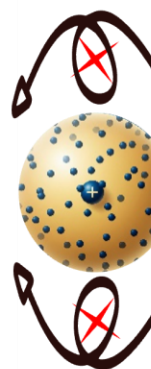
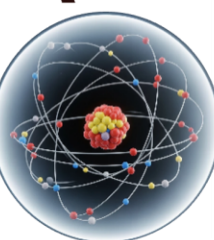
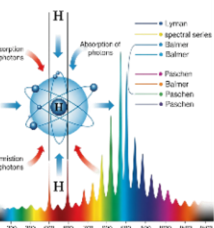
Uma alternativa consiste na ampliação do uso da **espectroscopia óptica** como recurso pedagógico em outras instituições de ensino. Tal abordagem parte da constatação de que a promoção de atividades experimentais, quando práticas e contextualizadas, **facilita a compreensão de temas complexos**, como os modelos atômicos quânticos. Além disso, a SD fundamentada nos princípios da aprendizagem significativa de Ausubel contribui para que os estudantes construam conhecimentos de forma integrada e progressiva, possibilitando uma melhor assimilação de conteúdos científicos contemporâneos. Pesquisas futuras podem aprofundar ainda mais esta abordagem, desenvolvendo novas estratégias para lidar com dificuldades específicas dos alunos e aprimorar a organização hierárquica do conhecimento.

Nesse sentido, a SD também pode ser adaptada para incluir tecnologias e ferramentas digitais, ampliando as possibilidades experimentais e de exploração dos fenômenos físicos, o que pode colaborar para a compreensão dos conceitos.

As limitações para implementação dessa SD estão tanto de ordem estrutural quanto pedagógica. A primeira diz respeito a infraestrutura e recursos materiais das escolas públicas, que podem não dispor dos equipamentos necessários para a realização dos experimentos práticos de espectroscopia óptica, como filtros, espectrômetros ou fontes luminosas adequadas. Isso limita a aplicação plena da SD em ambientes com recursos restritos.

Outra limitação envolve o tempo disponível para a realização das atividades, uma vez que a SD está organizada em cinco aulas de 48 minutos cada. Essa carga horária pode ser insuficiente para alunos que necessitem de maior apoio, reforço dos conceitos básicos ou maior tempo para experimentação e reflexão crítica sobre os resultados observados. Pedagogicamente, embora a abordagem experimental e a ênfase na aprendizagem significativa sejam valiosas, alguns estudantes podem encontrar dificuldades em conectar os conceitos teóricos com as atividades práticas. Isso requer do professor maior preparo para mediar o processo de ensino-aprendizagem e adaptar as estratégias conforme o perfil dos alunos.

Portanto, em cinco aulas acreditamos que a integração entre teoria, prática e contexto histórico torna a aprendizagem significativa e transformadora.



17 REFERÊNCIA

AMAZONAS. Referencial Curricular do Amazonas. [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: <https://anec.org.br/wp-content/uploads/2021/05/RCA-Ensino-Medio.pdf>. ARAÚJO, D. L. D. Entre palavras. O que é (e como faz) sequência didática?, [s. l.], v. 3, p. 322–334, 2013.

AUSUBEL, D. P. Educational Psychology: A Cognitive View. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BLOOM, B. S., et al. (1956). Taxonomia dos objetivos educacionais: A classificação das metas educacionais. Trad. R. M. R. V. Costa, Editora Mestre Jou.

BRASIL, M. D. E. Base Nacional Comum Curricular. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf.

OSTERMANN, F; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no ensino médio". Investigações no Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.5, n.1: p. 22-48, 2000.

SILVA, Everaldo Mateus da. Uma Sequência Didática para o Ensino da Espectroscopia no Ensino Médio por meio da Experimentação. 2020. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC, 2018.

MORAN, José Manuel. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, Lilian; MORAN, José Manuel (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora. São Paulo: Penso, 2015. p. 1-25.

FEYNMAN, R. P. O caráter da lei física. São Paulo: Ed. Cultrix, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física – Volume 4: Óptica e Física Moderna. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.