



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 09

FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

**NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA: ROTEIROS PARA EXPERIMENTAÇÃO
SIMULADA**

MOSSORÓ/RN

2022

FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

**NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA: ROTEIROS PARA EXPERIMENTAÇÃO
SIMULADA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – polo 09 UFERSA – do Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof.º Dr. Taciano Amaral Sorrentino.

MOSSORÓ/RN

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

586n Silva, Francisco Ferreira da.
Noções de Física Quântica: Roteiros para
Experimentação Simulada / Francisco Ferreira da
Silva. - 2022.
93 f. : il.

Orientador: Taciano Amaral Sorrentino.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Física, 2022.

1. Física Quântica. 2. Conceitos Físicos. 3.
Ensino Médi. 4. Aprendizagem significativa. 5.
Simulações. I. Sorrentino, Taciano Amaral, orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

**NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA: ROTEIROS PARA EXPERIMENTAÇÃO
SIMULADA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - polo 09 UFRSA – do Departamento de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em 30 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Taciano Amaral Sorrentino - Orientador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa – Examinador 1
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdeci da Silva Mestre Júnior – Examinador 2
Universidade Estadual da Paraíba

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a meus pais, José Custódio da Silva e Edite Ferreira Silva por terem sempre acreditado na educação como agente transformador.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter permitido que tudo pudesse acontecer conforme a sua vontade.

Ao meu orientador, a Professor Dr. Taciano Amaral Sorrentino pelas orientações, dicas e contribuições que foram decisivas para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

À CAPES e à SBF, pela organização e financiamento do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF.

À UFERSA e todo o corpo docente responsável pela implantação e manutenção do MNPEF.

A todos os professores que fazem parte do Programa do MNPEF do Polo 9 – UFERSA, entre tantos, ao Professor Dr. Lazaro Luis de Lima Souza, à Professora Dra. Erlania Lima de Oliveira e ao Professor Dr. Rafael Castelo Guedes Martins, pelo comprometimento e dedicação.

Ao Grupo Gestor da Escola Estadual Padre Arimatéia Diniz, pelo grande apoio e contribuição, que foi essencial para a conclusão desse trabalho.

Aos meus colegas professores, em especial, ao Professor Hélio Ferreira da Silva, pela ajuda grandiosa na organização e no apoio na realização das simulações no Laboratório de Informática.

À minha família, especialmente, minha esposa e minha filha, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste mestrado.

A todos os meus colegas da turma 2020 do MNPEF do Polo 9 – UFERSA, pelas preocupações que cada um demonstrou com os demais.

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

RESUMO

O referido trabalho é fruto da aplicação de uma sequência didática que faz uso de simulações computacionais para o ensino de tópicos de Física Quântica, considerando os conhecimentos prévios dos alunos e aplicando atividades com material de apoio em sala de aula. As etapas que compõem a sequência são as seguintes: pré-teste; organizadores prévios; aplicação da simulação com roteiro de estudo; organizador explicativo; teste final. Essas etapas estão de acordo com os resultados da interpretação da Teoria de aprendizagem significativa de Ausubel necessária para aquisição de novos conhecimentos considerando os conhecimentos prévios do indivíduo. A sequência de atividades foi aplicada a três turmas do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública de ensino regular. Esse material se destina a nortear o trabalho do professor no planejamento de suas aulas no dia a dia, através do uso de tecnologias, que tem como ênfase aplicações da Física Quântica. As simulações utilizadas nas atividades foi desenvolvidas pelo projeto PhET da Universidade do Colorado. Consta que o uso constante de simulações computacionais aliado a uma teoria de aprendizagem pode ajudar o aluno no processo de aprendizagem. Olhando os resultados do teste final e comparando com as respostas do pré-teste, pode-se afirmar que, de modo geral, ocorreu aprendizagem por parte dos alunos no que se referem aos conceitos relacionados aos fenômenos em estudo. Assim, ancorado nas observações e nos dados qualitativos apresentado pelas respostas dos alunos pode-se dizer que a sequência tem potencial significativo para o ensino da Radiação do Corpo Negro, do Experimento de Rutherford e de Moléculas e Luz.

Palavras-chave: Física Quântica; Conceitos Físicos; Ensino Médio; Aprendizagem significativa; Simulações.

ABSTRACT

This work is the result of the application of a didactic sequence that uses computational simulations to teach topics in Quantum Physics, considering the students' prior knowledge and applying activities with support material in the classroom. The steps that make up the sequence are the following: pre-test; advance organizers; application of simulation with study script; explanatory organizer; final test. These steps are in accordance with the results of the interpretation of Ausubel's Theory of Significant Learning necessary for the acquisition of new knowledge, considering the individual's previous knowledge. The sequence of activities was applied to three classes of the third year of high school in a regular public school. This material is intended to guide the teacher's work in planning their classes on a daily basis, through the use of technologies, which emphasize applications of Quantum Physics. The simulations used in the activities were developed by the PhET project at the University of Colorado. It is said that the constant use of computer simulations combined with a learning theory can help the student in the learning process. Looking at the results of the final test and comparing it with the pre-test responses, it can be stated that, in general, students learned about the concepts related to the phenomena under study. Thus, anchored in the observations and qualitative data presented by the students' responses, it can be said that the sequence has significant potential for teaching Black Body Radiation, Rutherford's Experiment and Molecules and Light.

Keywords: Quantum Physics; Physical Concepts; High School; Meaningful Learning; Simulations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Comparação entre a teoria clássica de Rayleigh-Jeans e experiência.....	18
Figura 2	– Distribuição espectral de radiação emitida por um corpo negro.....	19
Figura 3	– O arranjo experimental usado por Geiger e Marsden, no qual é possível medir o número de partículas alfa em função do ângulo de espalhamento ϕ	21
Figura 4	– Resultados experimentais obtidos por Geiger e Marsden usando o equipamento da Figura 3.....	22
Figura 5	– O arranjo experimental usado por Geiger e Marsden, no qual é possível medir o número de partículas alfa em função do ângulo de espalhamento ϕ	23
Figura 6	– Experimento de Rutherford.....	35
Figura 7	– Radiação de corpo negro.....	36
Figura 8	– Moléculas e Luz.....	36
Figura 9	– Pergunta e a resposta do estudante.....	38
Figura 10	– Pergunta e a resposta do estudante.....	38
Figura 11	– Pergunta e a resposta do estudante.....	38
Figura 12	– Pergunta e a resposta do estudante.....	39
Figura 13	– Pergunta e resposta do estudante.....	39
Figura 14	– Pergunta e resposta do estudante.....	39

LISTA DE TABELA

Tabela 1	– Resumo dos gases.....	26
Tabela 2	– Os Gases de Efeito Estufa.....	27
Tabela 3	– Esquema dos momentos pedagógicos envolvidos na sequência didática.....	31
Tabela 4	– Objetos de aprendizagem e habilidades a serem desenvolvidas.....	31
Tabela 5	– Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: Corpos que não emitem luz própria coma a Sol, emitem energia de alguma forma?.....	43
Tabela 6	– Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: Escreva em algumas linhas o que você sabe sobre o átomo.....	44
Tabela 7	– Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: O que é efeito estufa? Quais os gases podem ser considerados gases do efeito estufa?.....	45
Tabela 8	– Respostas de alguns estudantes para o item a) da questão três, de Radiação do corpo Negro do Teste Final.....	47
Tabela 9	– Respostas de alguns estudantes para a questão dois do Teste Final – Experimento de Rutherford.....	48
Tabela 10	– Respostas de alguns estudantes para o item a) da questão três, de Moléculas e Luz do Teste Final.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CFCs.	Clorofluorcarbonos
HCFCs.	Hidroclorofluorcarbonos
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
Sec.	Século
SI	Sistema Internacional de Unidades

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
2 DESENVOLVIMENTO	15
2.1 ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO.....	16
2.1.1 A radiação do corpo negro	16
2.1.2 Experimento de Rutherford.....	20
2.1.3 Moléculas e Luz.....	23
2.1.3.1 Radiação Ultravioleta e a Camada de Ozônio	24
2.1.3.2 Gases do Efeito Estufa.....	25
2.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	29
2.3 DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	30
2.3.1 Definição do produto educacional	30
2.3.2 Etapas da sequência didática	30
2.3.2.1 Primeira etapa	32
2.3.2.2 Segunda etapa	34
2.3.2.3 Terceira etapa	36
2.3.2.4 Quarta etapa	37
2.4 TESTE FINAL.....	37
2.5 RECURSOS E MATERIAIS	39
2.6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	40
2.6.1 Local de aplicação	40
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
3.1 Análise dos pré-testes.....	42
3.1.1 Análise dos Pré-Testes sobre Radiação de Corpo Negro	42
3.1.2 Análise dos Pré-Testes sobre Experimento de Rutherford.....	43
3.1.3 Análise dos Pré-testes sobre Moléculas e Luz.....	44
3.1.4 Análise dos Testes Finais	46
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS.....	52
APÊNDICE	54

1 INTRODUÇÃO

As incessantes revoluções tecnológicas têm obrigado escolas e professores a se adaptarem a um novo momento e, com isso, se faz necessário uma mudança no ensino de Física Moderna, principalmente na Física Quântica. A Física Moderna que antes era desconhecida pela sociedade agora ganha espaço e exige da escola e principalmente do professor um esforço para seu ensino.

Apesar de existir um grande número de trabalhos sobre os mais variados tópicos deste assunto, os professores ainda insistem em continuar explorando a Física Clássica, em detrimento da Física Moderna. Pensando nisso, optamos por um produto educacional que também abordasse conceitos de Física Moderna. O presente produto educacional tem como objetivo principal nortear o trabalho de nossos professores num dos assuntos mais interessante no ensino de Física, a Física Quântica.

É necessário alterar o ensino de Física normalmente ofertado pelas nossas escolas de modo a contemplar o ensino da Física Moderna, não apenas como a Física diferente da Física Clássica, mas, como aquela que apresenta um novo olhar ao aluno e a sociedade. (PINTO; ZANETIC, 1999).

Não é difícil perceber as dificuldades apresentadas pelos alunos na aprendizagem em relação aos conceitos de Física, cuja consequência mais gritante é o baixo desempenho nas avaliações da aprendizagem, tanto a nível secundário quanto superior. No que se refere aos conceitos de Física Moderna essas consequências são ainda mais desanimadoras, pois na maioria das escolas estaduais esses conceitos sequer são abordados na semana pedagógica nem fazem parte dos conteúdos do plano anual.

Questões relativas ao processo de ensino-aprendizagem em Física, essencialmente no ensino médio, têm gerado nas últimas décadas tema de muitas pesquisas, as quais têm apontado numerosas causas para tal situação; dentre muitas se destacam o grande número de alunos por turma, a falta de professores licenciados para ministrar a disciplina, a falta de infraestrutura, a falta equipamentos para a realização de atividades práticas/experimentais como LEIs com rede de internet, a falta de domínio por parte dos professores, dificuldades metodológicas e didáticas, não seguir o projeto pedagógico escolar e principalmente, a concepção errônea do professor sobre o processo ensino-aprendizagem da Física.

Segundo Silva (2017), o século XXI é marcado por mudanças de caráter sociocultural motivadas pelas Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC), estando cada vez mais presentes numa grande parte das camadas da sociedade atual, querendo

da escola mudanças para abraçar e integrar os novos alunos, os quais estão mergulhados no mundo do vocabulário dessas novas tecnologias.

Para Garcia (2012), com o advento da sociedade da informação, o sistema educacional brasileiro precisa integrar-se a uma nova conjuntura, dado que a escola é um micromundo que tem, dentre suas finalidades, o preparo dos indivíduos para a vida adulta do amanhã, deve ela constituir-se com as mesmas características.

A Física, factualmente é considerada pelos professores uma disciplina difícil de ser ensinada e aprendida e isto é propagado de tal maneira que notadamente os alunos apresentam dificuldades de aprendizagem nesta disciplina. Por isso, novos métodos, novas abordagens, com o uso de novas tecnologias e meios que estejam disponíveis, podem ser essenciais para motivar a participação dos alunos, aumentando o interesse dos mesmos pelos conteúdos, aumentando assim a aprendizagem.

O presente trabalho foi desenvolvido com a finalidade de transpor as dificuldades aqui assinaladas. Busca-se através dele avaliar se o uso de atividades simuladas em sala de aula com o uso de computadores/celulares, facilita a aprendizagem significativa dos alunos desse nível de ensino. Busca-se também viabilizar a interação teoria/prática no ensino de Física em nível médio, a fim de promover uma nova compreensão dos conceitos científicos e promover o interesse pelo experimento simulado no ensino de Física.

A utilização de atividades simuladas pode ser uma possibilidade de mudanças dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas para o ensino de Física. Pois quando o professor introduz novos métodos de abordagem em sala de aula, com uso de atividades experimentais por exemplo, ele se depara a um novo comportamento dos alunos mais interessados e participativos. É nesse momento que o professor poderá optar por uma determinada didática que inclua o uso de atividades experimentais.

Como professor de Física do Ensino Médio da rede pública de educação, pude constatar as dificuldades de aprendizagem que os alunos apresentam em relação aos conceitos desta disciplina, cuja consequência mais evidente é o baixo desempenho nas avaliações da aprendizagem.

É consenso que um professor que não domina os conceitos básicos de uma disciplina ou que não tem facilidade em explicá-los, sem dúvida, não terá condições para oferecer um bom ensino. Por outro lado, mesmo aquele professor que domina o conteúdo e é capaz de explicá-lo pode ensinar de maneira inadequada, considerando que o mesmo apenas está repassando informações sem construir conhecimentos. Notadamente, para alguns

professores é melhor criar uma narrativa em que a Física é uma ciência extremamente difícil, o que dificulta muito a aprendizagem e o interesse dos alunos pela disciplina.

Tradicionalmente a Física é considerada pelos professores uma disciplina difícil de ser ensinada e frequentemente os alunos apresentam dificuldades de aprendizagem neste conteúdo. A reforma do ensino médio provocou a redução da carga horária de ciências naturais e isso levou a uma maior dificuldade na apresentação dos conceitos. Por isso, novos procedimentos de ensino certamente são necessários para motivar a participação dos alunos e aumentar o seu interesse pelos conteúdos ministrados nas aulas dessa disciplina.

É comum a argumentação de vários professores que o ensino de Física tem assumido o caráter de preparação para resolução de exercícios de vestibulares. Para esses professores, a situação é comprovada ao observamos o uso indiscriminado de livros e assemelhados, recheados de exercícios preparatórios para as provas de vestibulares que, na sua essência, primam pela memorização e pelas soluções algébricas, o que tem sido alvo de sérias críticas.

De certa forma, os livros didáticos apresentaram grandes melhorias ao longo do tempo, apesar de que a maioria apresenta poucos exercícios conceituais, privilegiando exercícios com respostas de caráter matemático. Um outro fator importante que vem dificultando o trabalho do professor são as mudanças provocadas pela reforma do novo ensino médio. Porém, o mais problemático nessas obras está na forte identificação que eles promovem entre a Física e os algoritmos Matemáticos. É fácil observar que os textos e, principalmente, os exercícios, são apresentados como Matemática aplicada, na qual a questão fundamental se resume a treinar o estudante na resolução de problemas algébricos.

Outra questão levantada diz respeito a alguma imersão de conteúdos que compõem os livros didáticos. Com apenas duas aulas por semana o professor precisa selecionar quais os conceitos que irá abordar diante da complexidade dessas obras, tendo que, muitas vezes, “pincelar” tópicos desconexos, simplesmente por que é necessário contemplar todos os livros.

Atividades experimentais simuladas podem ser uma possibilidade de mudanças dos modelos tradicionais de ensino para a construção de formas alternativas de ensinar Física. Pois quando o professor introduz experimentos em sala de aula, ele se vê frente a um novo comportamento dos alunos: mais interessados e participativos. É nesse momento que o professor poderá optar por uma determinada didática que inclua o uso de atividades experimentais.

Para Freire e Forster (2016), neste contexto, o docente é um facilitador da aprendizagem, pois sua atribuição é de permitir uma inclusão social emancipatória. “Ensinar

não é transferir conhecimento”, mas gerar possibilidades para que o indivíduo tenha a sua própria produção.

É com o propósito de buscar superar as dificuldades aqui apontadas que o presente trabalho foi desenvolvido. Nela, busca-se avaliar se simulações em sala de aula facilitam a aprendizagem significativa dos alunos nesse nível de ensino. Busca-se também promover a interação teoria/prática no ensino de Física em nível médio, a fim de proporcionar uma nova compreensão dos conceitos científicos e promover o interesse pelo uso de simulações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Utilizar uma sequência didática a partir de simulações como meio de facilitar a abordagem do ensino de Física Moderna, especialmente conceitos de Física Quântica que se relacionam diretamente com o cotidiano dos alunos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Utilizar conceitos de física moderna nas turmas de 3º Ano do ensino médio;
- Projetar processos de ensino e aprendizagem potencialmente significativas para os discentes, relacionando os conhecimentos adquiridos com os fenômenos presentes em seu cotidiano;
- Incluir conceitos físicos com o propósito de diminuir possíveis dificuldades futuras que os alunos poderão ter com a disciplina de Física no Ensino Médio;
- Ressaltar a importância de inserir conteúdos de Física Quântica no ensino de Física no Ensino Médio;
- Usar simulações como ferramenta capaz de estimular a participação dos discentes com o intuito de facilitar e melhorar a aprendizagem no ensino Física;
- Dar finalidade real aos conceitos físicos, tendo como objetivo promover o entendimento dos fenômenos físico no nível atômico e nuclear por parte dos alunos.

2 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será ressaltado o fundamento teórico que dá amparo ao tema que é objeto de análise dessa dissertação.

2.1 ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

2.1.1 A radiação do corpo negro

Qualquer corpo quando aquecido emite radiação eletromagnética num espectro contínuo característico que depende somente de sua temperatura. Uma pequena fração dessa radiação pode ser vista em forma de luz ao observarmos carvão em brasa ou um pedaço de metal por exemplo. Um corpo negro é um corpo ideal que absorve toda a radiação que nele incide sem permitir que nenhuma parte dela seja refletida. Todas as previsões feitas pelas teorias que existiam no final do século XIX e início do século XX discordavam dos resultados experimentais. O fato é que os resultados experimentais eram muito diferentes das previsões teóricas e ninguém era capaz de explicar o motivo dessa discrepância (VÁLIO, 2016).

Em dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck apresentou à Sociedade Alemã de Física um estudo teórico a respeito da emissão de radiação de um corpo negro, deduziu uma equação que estava totalmente de acordo com os resultados experimentais. Contudo, “para conseguir uma equação a qualquer custo”, ele considerou a existência de cargas elétricas oscilantes, na superfície do corpo negro, que emitem energia radiante não de modo contínuo, como sugere a teoria clássica, mas sim em porções descontínuas, “partículas” que transportam, cada qual, uma quantidade de energia E bem definida, os “fótons” (ALVARES; GUIMARÃES, 2017).

A energia E de cada fóton foi denominada quantum (no plural quanta). O quantum E de energia radiante de frequência f é dado por: $E = hf$, em que h é uma constante de proporcionalidade denominada constante de Planck, cujo valor é dado por: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

A solução encontrada por Planck, para resolver a questão do corpo negro, considerando que a energia é quantizada, permitiu-lhe explicar outros conceitos físicos a nível microscópico. É considerada o ponto de partida da história da Física Quântica. Por esse motivo, a data de dezembro de 1900 é considerada um divisório entre a Física Clássica e a Física Quântica: a teoria física dos fenômenos microscópicos (HEWITT, 2002).

a) Lei de Rayleigh-Jeans: descrição clássica

Rayleigh e Jeans, na tentativa de explicar os fenômenos experimentais relativos ao corpo negro desenvolveram uma teoria. O exemplo mais simples de um corpo radiante, pode-se considerar o oscilador harmônico linear de frequência própria ν . Para um oscilador como

este, pode-se determinar a energia irradiada por segundo; de modo que, sendo esta radiação equivalente à radiação emitida por um dipolo oscilante a qual é dada pela equação (1)

$$\mu_v = \frac{8\pi v^2}{c^3} \epsilon$$

sendo ϵ a energia média dos osciladores. Utilizando o teorema da equipartição da energia, é possível chegar a este mesmo valor de energia, dado na equação (2)

$$\epsilon = \frac{1}{\beta} = k_B T$$

, onde k_B é a constante de Boltzmann e T é a temperatura em Kelvin. Substituindo o valor de μ_v na equação de (2), obtém-se (3)

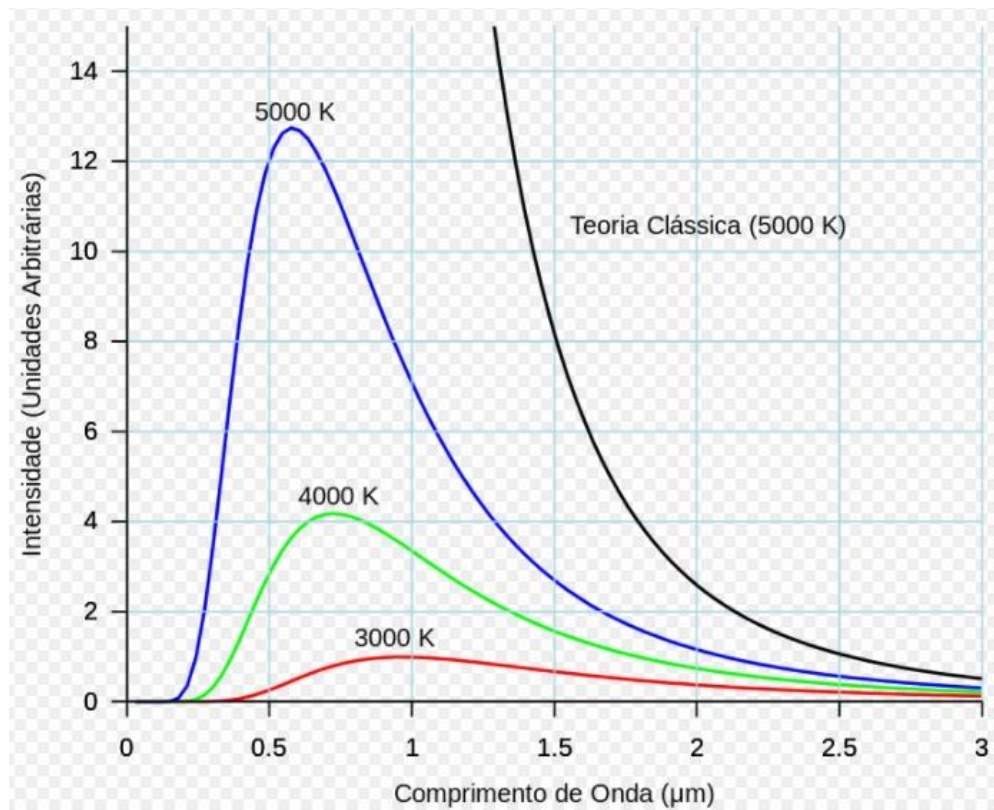
$$\mu_v = \frac{8\pi v^2}{c^3} k_B T$$

Porém, de acordo com essa lei, um aumento na frequência implica em aumento da energia radiante até que $\lim_{v \rightarrow \infty} \mu_v \rightarrow \infty$. Esta divergência ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta (STRINGASCI, 2011).

A figura 1 mostra a comparação entre a teoria clássica de Rayleigh-Jeans e os resultados da obtidos. Podemos ver que há concordância apenas quando se trata de frequência muito baixa ou quando a temperatura é muito alta. A figura 1 também mostra o gráfico da densidade espectral de acordo com a lei de Planck para diferentes valores da temperatura. Do gráfico, percebemos que a energia cresce com o aumento da temperatura e que a área sob as curvas dá a densidade total de energia. O máximo de cada curva indica qual a frequência que predomina (CONEDU, S/D).

Observa-se que há concordância apenas para frequências é muito baixa ou a temperatura muito alta.

Figura 1 – Comparação entre a teoria clássica de Rayleigh-Jeans e experiência.



Fonte: Observa-se do gráfico acima que para cada temperatura de um corpo negro o pico de cada curva da radiação experimental tem um ligeiro deslocamento para menores intensidades e maiores comprimentos de onda. O gráfico de emissão de radiação de um corpo negro também é comparado com o modelo clássico de Rayleigh e Jeans (Wikipédia – fevereiro 2023).

b) Lei de Planck

Para resolver este problema e completar a teoria, Planck postulou que a energia adquire um caráter discreto, ou seja, se manifesta em “pacotes” de uma quantidade bem definida, que foi denominada de quantum (do latim, “porção de algo”). Com isso ele quis dizer que a energia de cada pacote era igual a número inteiro de um dado valor mínimo de energia, isto é, $E = nE_0$, sendo n um número inteiro, $n=1,2, 3...$. Matematicamente isto significa substituir a soma contínua na equação de Rayleigh-Jeans por uma soma discreta. Tendo a energia média dada por (4),

$$\epsilon = \frac{\epsilon_0}{e^{\epsilon_0/k_B T} - 1}$$

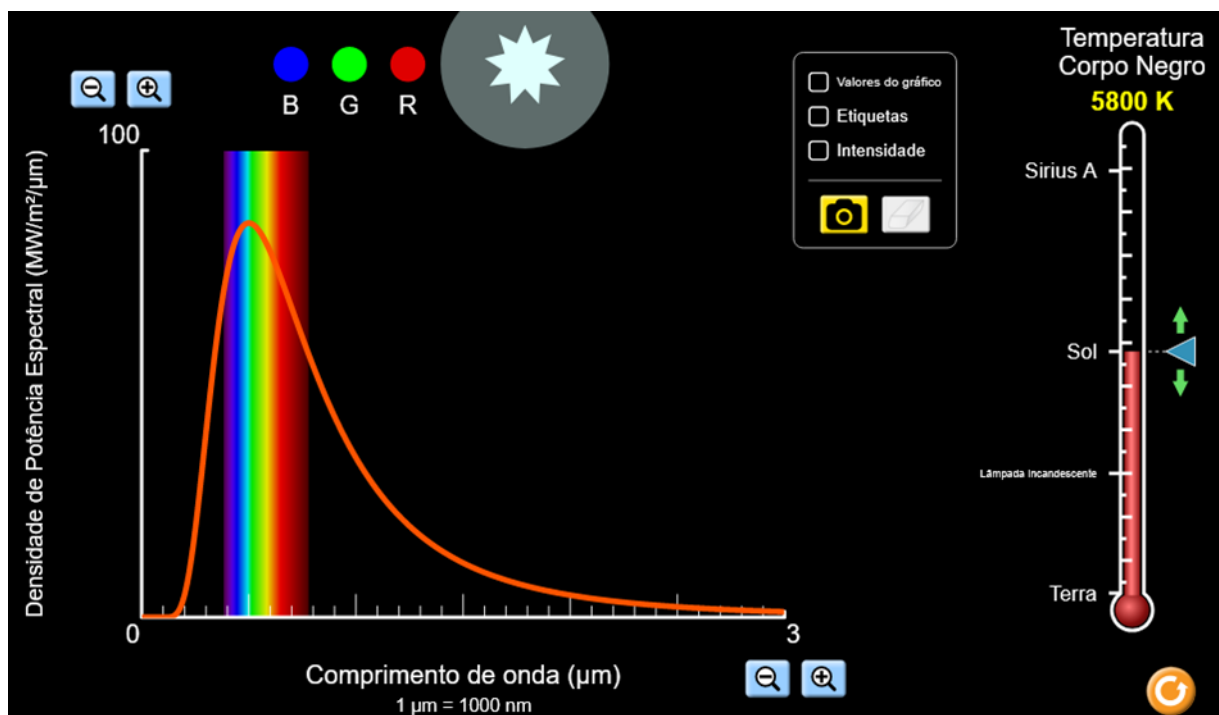
Substituindo este valor de E na equação da lei de Rayleigh-Jeans, e $E = h\nu$, obtém-se a equação de Planck para a radiação emitida pelo corpo negro (5).

$$\mu_\nu = \frac{8h\pi\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/K_B T} - 1}$$

A figura 2 abaixo, mostra o gráfico da densidade espectral como na figura 1. Em síntese é um gráfico de espectrometria de corpo aquecido que emite radiação térmica em determinadas faixas de comprimento de onda e que varia de acordo com a temperatura do corpo. de que está de acordo com a lei de Planck para diferentes valores da temperatura.

Do gráfico, percebemos que a energia cresce com o aumento da temperatura e que a área sob as curvas dá a densidade total de energia. O máximo da curva indica qual a frequência que predomina.

Figura 2 – Distribuição espectral de radiação emitida por um corpo negro.



Fonte: PHET – Universidade do Colorado (2023).

A função (5) é limitada matematicamente em ambos os extremos: quando

$$\mu_\nu = \frac{8h\pi\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/K_B T} - 1}, \text{ que é o limite de Wien para altas energias e quando}$$

$\mu_\lambda = \frac{8h\pi}{\lambda^3} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$ que é o limite de Rayleigh-Jeans, útil na região espectral das micro-ondas ($\lambda > 1\text{mm}$), e que está de acordo com o modelo clássico.

c) Lei de Wien

Em função do comprimento de onda λ , a função de Planck pode ser reescrita como (6):

$$\mu_\lambda = \frac{8h\pi}{\lambda^3} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$$

Uma das características da função de Planck é que o comprimento de onda relativo ao seu ponto de máximo é inversamente proporcional à temperatura para a qual esta é calculada. De outra forma, o valor do comprimento de onda, para qual a radiação emitida por um corpo negro é máxima, é inversamente proporcional à sua temperatura. Essa é a lei do deslocamento de Wien. Diferenciando a equação (6), com relação ao comprimento de onda e igualando a zero, obtém-se (7)

$$\lambda_m = \frac{2897}{T} [\mu\text{m}]$$

Logo, quanto mais quente estiver o corpo, menor será o comprimento de onda para o qual o corpo emite radiação máxima. Sendo assim, qualquer corpo luminoso que gradativamente esfria para de emitir luz visível (por exemplo, um pedaço de ferro em brasa).

d) Lei de Stefan- Boltzmann

Integrando-se a função de Planck em todo seu domínio de frequência, pode-se obter a radiação total emitida por um corpo negro pode, como em (8) $u = \int_0^\infty u_\nu d\nu = \sigma T^4$, sendo σ é a constante de Stefan-Boltzmann = $(5,6696 \pm 0,0025) \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$). Esta é a Lei de Stefan-Boltzmann.

2.1.2 Experimento de Rutherford

a) A descoberta do Núcleo

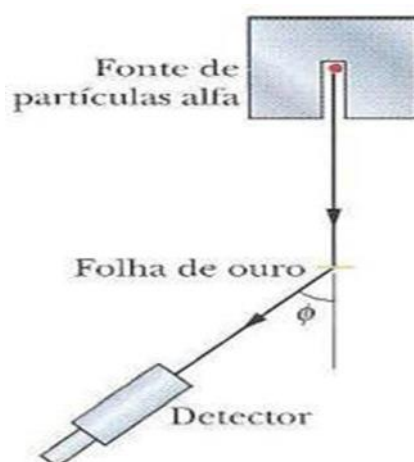
Descoberto (por J.J. Thomson) em 1897, o elétron era a única coisa que se conhecia a respeito da estrutura atômica, nos anos iniciais do século XX. Por convenção, tinha carga negativa, mas nem sua massa, ou o total de elétrons eram conhecidos em um átomo. Sendo eletricamente neutros, os físicos sabiam que os átomos deveriam ter cargas positivas (HALLIDAY, 2016).

Em 1911 Ernest Rutherford sugeriu que a carga positiva se concentrava no centro do átomo, formando o núcleo, sendo este, o local que concentra a maior parte da massa atômica. Sua sugestão tinha como base os resultados de um experimento proposto por ele e realizado por Hans Geiger (o inventor do contador Geiger) e Ernest Marsden, na época, um estudante de graduação (HALLIDAY, 2016).

Rutherford sabia na época que determinados elementos denominados radioativos, espontaneamente se transformam em outros elementos e que nesse processo emitem partículas. O gás radônio, é um desses elementos, que emite partículas alfa (α) com uma energia de cerca 5,5 MeV. Essas partículas são os núcleos de átomos de Hélio (HALLIDAY, 2016).

A ideia de Rutherford consistia em fazer as partículas alfa incidirem sobre uma fina folha de metal e medir o desvio angular da trajetória das partículas ao atravessarem o material. As partículas alfa, têm carga elétrica de $+2e$ e uma massa de aproximadamente 7300 vezes maior que a do elétron.

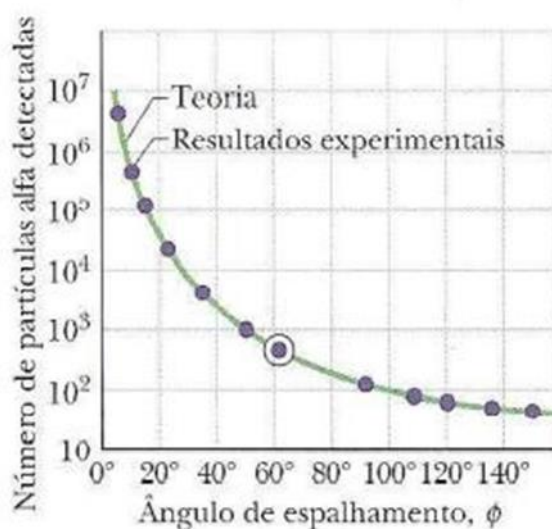
Figura 3 – O arranjo experimental usado por Geiger e Marsden, no qual é possível medir o número de partículas alfa em função do ângulo de espalhamento ϕ .



Fonte: HALLIDAY, David, 1916-2010. Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

A figura 4 abaixo, mostra os resultados obtidos por Geiger e Marsden com o experimento da folha de ouro utilizando o equipamento mostrado na Figura 1. A previsão teórica é representada pela curva, na hipótese de um átomo maciço, positivamente carregado e com um núcleo extremamente pequeno. Percebe-se do gráfico que a escala vertical é logarítmica (HALLIDAY, 2016).

Figura 4 – Resultados experimentais obtidos por Geiger e Marsden usando o equipamento da Figura 3.



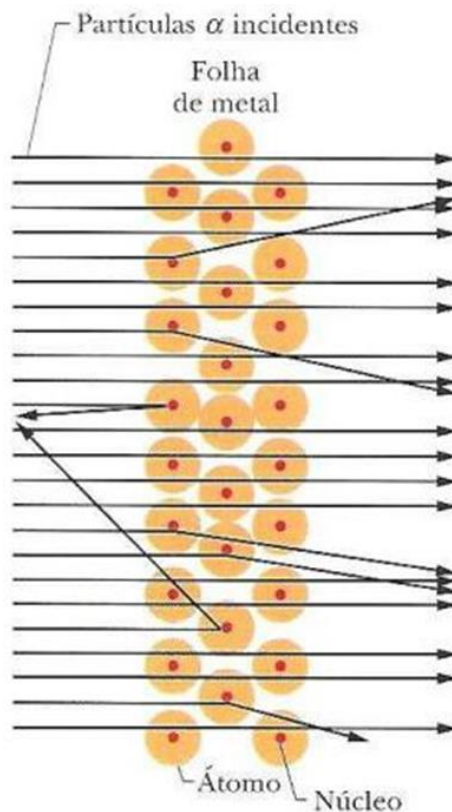
Fonte: HALLIDAY, David, 1916-2010. Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

O resultado deste experimento surpreendente, pois, algumas partículas apresentaram um o ângulo de espalhamento muito grande, em torno de 180°, enquanto a maioria delas apresentam um pequeno ângulo de espalhamento.

Essas foram as palavras de Rutherford: “Foi a coisa mais incrível que aconteceu em toda minha vida. É quase como se você desse um tiro de canhão em uma folha de papel e a bala ricochetearse” (HALLIDAY, 2016).

A grande surpresa de Rutherford se deve ao fato de que a maioria dos físicos da época acreditavam no modelo do “pudim de passas” proposto por J.J. Thomson para o átomo. De acordo com o modelo, a carga positiva do átomo estava uniformemente distribuída em todo o volume do átomo. Ainda, de acordo com esse modelo, os elétrons (as “passas”) vibram em torno de posições fixas no interior dessa esfera de carga positiva (HALLIDAY, 2016).

Figura 5 – O arranjo experimental usado por Geiger e Marsden, no qual é possível medir o número de partículas alfa em função do ângulo de espalhamento ϕ .



Fonte: HALLIDAY, David, 1916-2010. Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

A Figura 5 acima, mostra algumas possíveis trajetórias de partículas alfa no interior da folha de ouro. A maioria das partículas não sofre nenhuma deflexão ou sofre apenas um pequeno desvio, as grandes deflexões ficam com aquelas que passam próximas ao núcleo. Rutherford analisou os dados e chegou à conclusão de que o raio do núcleo era aproximadamente 10^4 vezes menor que o do átomo. Em outras palavras, o átomo é formado principalmente de espaço vazio.

2.1.3 Moléculas e Luz

A camada de ozônio funciona como uma barreira capaz de bloquear grande parte da radiação que chega a atmosfera terrestre inclusive quase toda a radiação ultravioleta nas formas

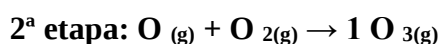
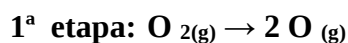
UVA (ultravioleta A) e UVB (ultravioleta B). Esta camada é constituída de oxigênio na forma do gás ozônio (O₃) (DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA, S/D).

A energia transportada por uma onda eletromagnética depende de sua frequência, ou seja, quanto maior a frequência maior a quantidade de energia transportada pela onda. Com exceção da luz visível, todas as ondas eletromagnéticas são invisíveis a olho nu. A luz visível compreende a radiação com comprimento de onda entre 380 nm e 750 nm. Já, a radiação ultravioleta, é definida como toda radiação com comprimento de onda menor que 400nm. A atmosfera terrestre filtra a maior parte da radiação solar enviada ao nosso planeta e a camada de ozônio, composta pelo gás ozônio – O₃, consegue bloquear cerca de 95% dos raios ultravioleta (UV) dessa radiação, sendo a camada de ozônio essencial para a vida na terra. Essa capacidade de átomos e moléculas absorverem energia permite a ocorrência de vários fenômenos (UNEP, S/D).

2.1.3.1 Radiação Ultravioleta e a Camada de Ozônio

A camada de ozônio é de extrema importância para a manutenção da vida na Terra, pois ela atua “bloqueando” e absorvendo grande parte da radiação ultravioleta (UV) proveniente do Sol e impedindo que a maior parte dela atinja a superfície do planeta. Os raios UV são os que causam os queimaduras da pele, além de poderem danificar o nosso DNA (ácido desoxirribonucleico) causando mutações genéticas, com danos graves e irreversíveis (GOV., S/D).

A camada de ozônio (O_{3(g)}) ocupa parte da estratosfera terrestre e se situa numa altitude que varia de 20 km a 35 km de distância do solo. Quando a radiação (luz ultravioleta) solar decompõe as moléculas do gás oxigênio (O_{2(g)}), liberando oxigênio livre na atmosfera inicia-se a formação do gás ozônio. Seguidamente, esse oxigênio livre reage com o gás oxigênio e forma uma nova molécula de o ozônio, conforme as reações abaixo:



Na troposfera (camada atmosférica mais próxima da superfície terrestre), o ozônio também está presente, mesmo que em menor quantidade, ele participa de alguns fenômenos incluindo o efeito estufa e do smog fotoquímico. A quebra da molécula de ozônio próximo a

superfície terrestre produz a reflexão de parte da radiação ultravioleta (em forma de calor), aumentando assim o efeito estufa, já que a atmosfera é transparente as onda eletromagnéticas mas é praticamente opaca ao calor.

O efeito estufa na Terra é resultado do aumento da temperatura quando parte da radiação proveniente do Sol e da superfície terrestre são absorvidos pelos gases, como dióxido de carbono e metano. Os gases absorvem radiação, principalmente, infravermelha e ultravioleta proveniente da reflexão de parte dessas radiações que chegam a superfície terrestre, aumentando assim sua temperatura e provocando o que conhecemos por "aquecimento global". Porém, o efeito estufa do gás carbônico (CO_2) e da água (H_2O), são responsáveis pela temperatura da Terra ser de 290 K (17°C). Assim, o efeito estufa mantém a água na superfície da Terra acima do ponto de congelamento, de 273 K (10°C).

O termo “efeito estufa” por semelhança ao aquecimento gerado pelas estufas, utilizadas no cultivo de plantas e que normalmente são de vidro. O vidro, assim como a atmosfera terrestre permite a livre passagem da luz do sol e essa energia tem parte absorvida e parte refletida. A parte da energia absorvida não consegue passar outra vez pelo vidro, sendo irradiada de volta para o interior da estufa.

2.1.3.2 Gases do Efeito Estufa

O dióxido de carbono CO_2 é conhecido dos cientistas como causador do “efeito estufa” desde o século 19 e sua permanência na atmosfera terrestre pode chegar a mais de 100 anos. Suas principais fontes do dióxido de carbono são: (carvão mineral, petróleo, gás natural, turfa). A destruição de florestas causa um impacto ainda maior, aumentando a quantidade de CO_2 do ar (IPCC, S/D).

De acordo com o IPCC (1995), as emissões globais de CO_2 hoje são da ordem de 7,6 Gt por ano. Sendo a natureza incapaz de absorver todo esse volume, resultando em um aumento da concentração atmosférica mundial desses gases (IPCC, S/D).

Outro gás que se destaca é o metano CH_4 – principal componente do gás natural responsável por uma grande parcela do efeito estufa. Os animais em geral também o produzem em seus aparelho digestivo, assim como, aterros sanitários, terrenos alagados e biodigestores inundadas.

N_2O – Participando com cerca de 6% do Efeito-Estufa, o óxido nitroso é produzido e liberado por micro-organismos no solo (por um processo denominado nitrificação, que libera igualmente nitrogênio – NO). A concentração deste gás é resultado do uso descontrolado de

fertilizantes químicos, da queima de biomassa, do desmatamento e de uma quantidade muito grande de emissões de combustíveis fósseis.

CFCs – Também são responsáveis por uma parcela importante do efeito estufa. Utilizados em refrigeradores, ar condicionado, isolamento térmico e espumas e em muito outros usos, os clorofluorcarbonos reagem com o ozônio na estratosfera, decompondo-o e reduzindo, assim, a concentração do O_3 na camada de ozônio.

O_3 – Contribuindo com 8% para o aquecimento global, o ozônio é um gás formado na baixa atmosfera, sob estímulo do sol, a partir de óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos produzidos em usinas termoelétricas, pelos veículos, pelo uso de solventes e pelas queimadas.

O vapor d'água presente na atmosfera também absorve parte da radiação refletida pela Terra, tanto contribui para o aquecimento natural do globo como para o equilíbrio térmico do planeta. Tendo como fontes principais os reservatórios naturais, entende-se que, com mais calor, haverá mais evaporação d'água e, conseqüentemente, um aumento de sua participação no aumento do efeito estufa.

Mencionados também no Protocolo de Quioto os gases: hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluorsulfúrico (SF_6). A tabela 1 apresenta resumo desses gases.

Tabela 1 – Resumo dos Gases.

	Aumento da concentração desde 1750	Contribuição para o aquecimento global (%)	Principais fontes de emissão
CO₂	31%	60%	Uso de combustíveis fósseis, deflorestação e alteração dos usos do solo.
CH₄	151%	20%	Produção e consumo de energia (incluindo biomassa), atividades agrícolas, aterros sanitários e águas residuais.
N₂O	17%	6%	Uso de fertilizantes, produção de ácidos e queima de biomassa e combustíveis fósseis.

Halogenados (HFC, PFC e SF6)	—	14%	Indústria, refrigeração, aerossóis, propulsores, espumas expandidas e solventes.
-------------------------------------	---	-----	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A tabela 2 mostra detalhadamente todos GEEs e algumas de suas características intrínsecas.

Tabela 2 – Os Gases de Efeito Estufa.

Espécies	Fórmula química	Tempo de vida (anos)	Potencial de aquecimento global (horizonte de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO ₂	Variável	1	1	1
Metano	CH ₄	12 ± 3	56	21	6.5
Óxido Nitroso	N ₂ O	120	280	310	170
Ozônio	O ₃	0,1 – 0,3	n.d.	n.d	n.d.
HFC-23	CHF ₃	264	9.100	11.700	9.800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5,6	2.100	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3,7	490	150	45
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17,1	3.000	1.300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32,6	4.600	2.800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10,6	2.900	1.000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14,6	3.400	1.300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1,5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3,8	1.000	300	94

HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48,3	5.000	3.800	1.400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36,5	4.300	2.900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5.100	6.300	4.700
HFC-145ca	C ₃ H ₃ F ₅	6,6	1.800	560	170
Hexafluorido de Enxofre	SF ₆	3200	16.300	23.900	34.900
Perfluorometano	CF ₄	50.000	4.400	6.500	10.000
Perfluoroetano	C ₂ F ₆	10.000	6.200	9.200	14.000
Perfluoropropano	C ₃ F ₈	2.600	4.800	7.000	10.100
Perfluorociclobutano	c-C ₄ F ₈	3.200	6.000	8.700	12.700
Perfluoropentano	C ₅ F ₁₂	4.100	5.100	7.500	11.000
Perfluorohexano	C ₆ F ₁₄	3.200	5.000	7.400	10.700

Fonte: IPCC, s/d.

A Tabela 2 mostra os diferentes potenciais de aquecimento global (Global Warming Potential - GWP) para cada gás de efeito estufa. Tomando como exemplo, o GWP do dióxido de carbono 1, o do metano 21, o do óxido nitroso 310, o do SF₆ 29.500, significa que o metano (CH₄) absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO₂, que o óxido nitroso absorve cerca de 310 e que o SF₆ absorve cerca de 23900, respectivamente, considerando o horizonte de tempo de 100 anos. Lembrando que, mesmo que o GWP de todos os gases sejam maior que o GWP do CO₂, este se apresenta em uma quantidade maior que os demais, sendo, portanto, o maior causador no efeito estufa.

2.2. A Teoria da Aprendizagem Significativa

A Tabela 2 mostra os diferentes potenciais de aquecimento global (Global Warming Potential - GWP) para cada gás de efeito estufa. Tomando como exemplo, o GWP do dióxido de carbono 1, o do metano 21, o do óxido nitroso 310, o do SF₆ 29.500, significa que o metano (CH₄) absorve cerca de 21 vezes mais radiação infravermelha do que o CO₂, que o óxido nitroso

absorve cerca de 310 e que o SF₆ absorve cerca de 23900, respectivamente, considerando o horizonte de tempo de 100 anos. Lembrando que, mesmo que o GWP de todos os gases sejam maior que o GWP do CO₂, este se apresenta em uma quantidade maior que os demais, sendo, portanto, o maior causador no efeito estufa.

2.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel foi elaborada baseando-se no contexto escolar e destaca o professor, como o principal agente capaz de promover situações que favoreçam a aprendizagem. Como profissional qualificado o papel do professor é o de propiciar momentos de construção do conhecimento, permitindo que ocorra o maior fluxo possível de informações, possibilitando ao aluno procurar as informações em seu meio.

Para Tavares (2008), é preciso três condições para que aconteça aprendizagem significativa sobre um determinado assunto: o material com conteúdo estruturado de maneira lógica; a presença de conhecimento organizado na estrutura cognitiva do indivíduo e que tenha relação com o novo conteúdo; e a vontade e disposição do aprendiz de relacionar o novo conhecimento com aquele já existente.

Ausubel (2003) propõe na sua teoria da aprendizagem que os conhecimentos prévios dos indivíduos sejam valorizados, para serem capazes de construir estruturas mentais utilizando, como meio, mapas conceituais que permitem desvendar novos conhecimentos, tornando, assim, a aprendizagem prazerosa e eficaz.

Segundo Ausubel (2003), duas condições são necessárias para haver aprendizagem significativa. A princípio, o aluno necessita ter uma vontade para aprender: caso o sujeito queira memorizar os conteúdos de forma arbitrária, a aprendizagem será mecânica. Em segundo lugar, o conteúdo escolar a ser aprendido deve ter potencial significativo. A aprendizagem significativa é a interação de conceitos já formados pelos alunos na estrutura cognitiva com um novo conhecimento. O conteúdo potencialmente significativo (a ser aprendido) e a estrutura cognitiva do indivíduo deve ter a mesma natureza, facilitando a aprendizagem e não a memorização.

Novos conceitos, ideias e informações são capturadas à medida em que haja portos de ancoragem (subsunçores). Só podemos falar em aprendizagem significativa, quando uma nova informação se junta a informações relevantes e preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende. Essa estrutura tem hierarquias conceituais que relacionam abstrações da experiência do aluno. A aprendizagem não só acrescenta como também modifica a estrutura

pré-existente. À medida em que a aprendizagem significativa decorre, novos conceitos são antecipados, efetivados e diferenciados como consequência de constantes interações.

Na sequência didática apresentada a partir do próximo capítulo usamos elementos da Teoria da Aprendizagem Significativa para sondar a estrutura cognitiva dos estudantes, descobrir que conhecimentos prévios relevantes os estudantes possuem, e tentar prover os conceitos relevantes faltantes de maneira organizada que favoreça a ancoragem dos novos conceitos a serem ensinados.

2.3 DESCRIÇÃO E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo será apresentado o produto educacional que é tema dessa dissertação, fazendo-se uma explicação sobre o mesmo, destaque-se as atividades desenvolvidas durante sua execução.

2.3.1 Definição do produto educacional

O produto educacional apresentado aqui, é composto por uma sequência didática, que utiliza simulações por uma questão de simplicidade e de uma maior agilidade na aplicação. A apresentação do mesmo está presente no Capítulo 2 dessa dissertação, desenvolvido com a finalidade de enfatizar conceitos de Física Quântica. Fazem parte desta sequência, Radiação do Corpo Negro, Experimento de Rutherford, Moléculas e Luz.

Considerando o avanço tecnológico das duas últimas décadas e o acesso dos alunos a essas tecnologias, a compreensão desses tópicos de física é essencial para as suas formações. Tais assuntos são primordiais para a compreensão dos acontecimentos do cotidiano e como exemplos podemos citar: Uma Lâmpadas de filamentos seria um bom exemplo de Corpo Negro utilizado no dia a dia, principalmente na iluminação de ambientes; como resultados do experimento de Rutherford, a radioatividade controlada é utilizada nas mais diferentes áreas, da medicina para o tratamento de tumores até a arqueologia para a datação de achados; a interação da luz com a matéria faz parte da vida das pessoas, como exemplo o forno de microondas.

2.3.2 Etapas da sequência didática

A Sequência ocorreu em 4 encontros pedagógicos para cada tópico em estudo, aos quais denominados de etapas, com mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Esquema dos momentos pedagógicos envolvidos na sequência didática.

Etapa	Duração (min)	Atividade
1	50	Atividade 1: Responder a um pré-teste, questionário conceitual sobre o assunto em estudo.
2	50	Atividade 2: Aula expositiva sobre o tópico e assistir a simulação.
3	50	Atividade 3: Roteiro para estudo! Ao abrir a simulação o aluno respondia a um questionário de acordo com o que via.
4	50	Aplicação do teste final para verificar a aprendizagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os objetivos de aprendizagem das atividades desenvolvidas estão estruturados de acordo com a análise de tratamento de dados em pesquisa qualitativa de Laurence Bardin. A análise de conteúdo já era utilizada desde as primeiras tentativas da humanidade de interpretar os livros sagrados (BARDIN, 1977).

Tabela 4 – Objetos de aprendizagem e habilidades a serem desenvolvidas.

Código	Atividade
OB1	Compreender as principais razões para o surgimento da Física Quântica.
OB2	Entender e compreender o conceito de modelo de corpo negro e sua importância do estudo da radiação no cotidiano das pessoas.
OB3	Entender a o experimento de Rutherford e a sua importância para a ciência de um modo geral.
OB4	Compreender os resultados obtidos pelo o experimento de Rutherford e a importância da descoberta do núcleo atômico.
OB5	Compreender a interação Molécula e Luz em vários fenômenos naturais, tais como o efeito fotoquímico e o efeito estufa atmosférico e que essas interações mantêm a vida no planeta Terra.
OB6	Compreender que a interação Molécula e Luz pode ser utilizada em novas tecnologia para o bem estar das pessoas, tais como o forno de micro-ondas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O objetivo da sequência didática é de fazer com que os alunos compreendam a importância de conhecer e identificar os conceitos de Física Quântica no seu dia a dia, fazendo relações entre os conteúdos vistos em sala de aula e objetos utilizados no meio no qual está inserido.

Suscintamente, a sequência compreende quatro etapas, cujo desenvolvimento está presente na sequência didática presente no produto educacional, a qual pode ser verificada no texto do Apêndice A, conjuntamente com a aplicação de questionários organizados utilizados na realização de pesquisas com os alunos, como será visto a seguir.

2.3.2.1 Primeira etapa

Corresponde à aplicação de pré-testes, às aulas expositivas dialogadas sobre cada tópico individualmente, assim como a revisão de assuntos necessário a compreensão dos tópicos da sequência. É de fundamental importância a mediação do professor nas discussões e questionamentos dos temas que surgem durante o debate, para que o processo de ensino e aprendizagem, se torne cheio de significado, com a participação efetiva dos alunos na construção do conhecimento.

A aplicação de um pré-teste é essencial para atender os requisitos necessários na aplicação da teoria de aprendizagem de Ausubel (2003), para conhecer melhor a estrutura cognitiva e os subsunçores dos alunos.

Também, durante a aplicação de cada tópico, reservamos um momento para mostrar a simulação aos alunos antes mesmo de levá-los ao laboratório de informática. Vale ressaltar que as simulações poderiam ser vistas pelos alunos no próprio celular, sem a necessidade de um computador. A introdução e discussão de conceitos nas aulas expositivas faz uma grande diferença do ponto de vista conceitual para os alunos. Assim, os alunos têm a oportunidade de expressar o que sabem sobre cada tópico. As perguntas que constam dos pré-testes são transcritas a seguir.

a) Radiação do corpo negro – Pré-teste

1 – A fonte primordial de energia para a manutenção da vida na Terra é o Sol. Responda:

- a) Como a energia do Sol é transmitida até a Terra?
- b) Você sabe como se chama esse processo?

2 – Responda:

- a) Corpos que não emitem luz própria, como o Sol, emitem energia de alguma forma?
- b) Durante a pandemia de COVID-19 alguém mediu sua temperatura com um termômetro infravermelho? Se não, você já viu um equipamento como esse? Você sabe como funciona esse termômetro?
- c) Você sabe como funciona um equipamento de visão noturna? Diga o que você sabe sobre esse equipamento.

3 – Responda:

- a) Além da luz visível, você conhece outros tipos de ondas eletromagnéticas? Quais?
- b) Quando você liga a TV com um controle remoto ou quando esquentar comida num forno de micro-ondas, que tipo de radiação é utilizada em cada caso? E quando alguém se acidenta e precisa fazer um exame de raio-x?
- c) A frequência dessas ondas eletromagnéticas citadas em cada caso no item b) é maior ou menor que a da luz visível?
- d) E quando você percebe na pele o calor emitido por um objeto quente perto de você, essa radiação tem frequência maior ou menor que a da luz visível?
- e) Se você esquentasse bastante uma pedra ou um pedaço de metal, você seria capaz de enxergar esse objeto durante a noite, no escuro?

4- Como você acha que enxergaria um corpo que absorvesse toda luz (e outras radiações) que incidisse sobre ele e não refletisse absolutamente nada? Que aparência ele teria?

b) Experimento de Rutherford – Pré-teste

1 – Todos os corpos, seja um grão de areia, seja uns organismos mais complexos, são formados por pequenas partículas.

- a) Como essas partículas se chamam?
- b) Essas partículas são formadas por outras partículas menores?

2 – No caso da questão 1 - b), se sua resposta for sim, você pode citar duas dessas partículas?

3 – Responda de forma direta:

- a) Você já ouviu falar em modelos atômicos?

- b) Você poderia citar algum desses modelos?
- c) Você lembra de alguma coisa, fato, invenção que esteja ligado ou ligada a este assunto? Pode citá-los?

4 – No modelo atômico de Rutherford, as regiões onde se encontram os elétrons, foram comparadas às órbitas descritas pelos planetas no sistema solar.

- a) Como se chamam essas regiões?
- b) Você seria capaz de explicar o porquê dessa comparação?

c) Moléculas e luz – Pré-teste

1 – Explique o melhor que puder porque um forno de micro-ondas aquece a comida.

2 – O que é efeito estufa? Quais gases podem ser considerados gases de efeito estufa?

3 – Qual a importância da camada de ozônio localizada na estratosfera?

4 – A nossa atmosfera é basicamente transparente para comprimentos de onda na região visível do espectro. Você já parou para pensar sobre isso? O que poderia acontecer se a radiação do Sol induzisse, com muita rapidez, reações das moléculas de gás oxigênio presentes na atmosfera? A compreensão destes conceitos iniciais é primordial para o caminhar da sequência didática. Neste sentido, o professor tem papel fundamental na mediação da aprendizagem à medida que surgirem as dúvidas por parte dos alunos. A mediação deve estimular o raciocínio e a capacidade de elaborar respostas e nunca a de dar as respostas prontas.

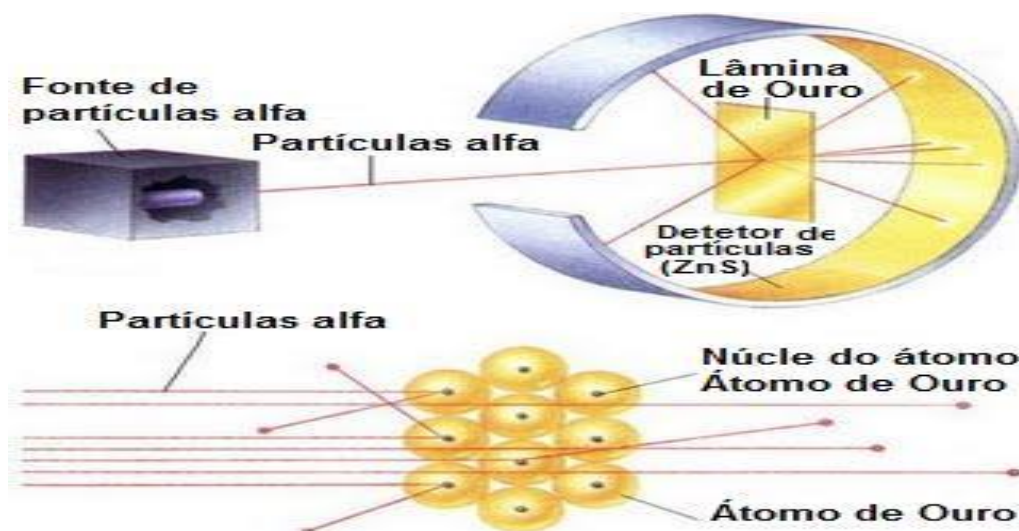
2.3.2.2 Segunda etapa

A segunda etapa é composta por uma aula dialogada, expositiva na qual são abordadas as questões do pré-teste, além de detalhar os conceitos referentes aos tópicos em estudo. Se o professor preferir pode já nesta etapa utilizar o Organizador Prévio (OP). A principal função dos organizadores prévios é facilitar a aprendizagem do indivíduo a partir de subsunções existentes na estrutura cognitiva do mesmo.

Foi utilizado um vídeo que mostrava um forno no qual dois tipos de materiais (concreto e cimento) eram aquecidos até o forno emitisse radiação (radiação de corpo negro), não era mais possível ver os materiais. Para o experimento de Rutherford, foram utilizados imagens e vídeos do Youtuber e para Moléculas e Luz, utilizou-se imagens e um vídeo com o funcionamento do forno de microondas.

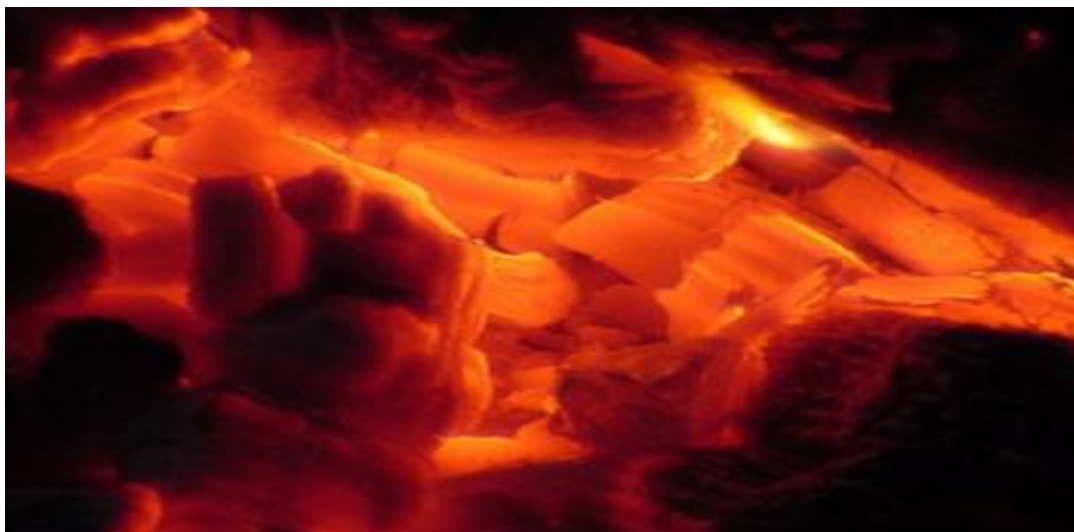
As figuras 6, 7 e 8, foram algumas das imagens utilizadas como organizadores prévios durante as aulas expositivas que ocorreram antes da prática do experimento de simulação. O experimento de Rutherford é representado por um desenho clássico da montagem do experimento da folha de ouro, como mostra a figura 6. A figura 7 é resultado do carvão em brasa representando o corpo negro, enquanto a interação molécula e luz está representada na figura 8, uma imagem detalhada do forno de microondas.

Figura 6 – Experimento de Rutherford.



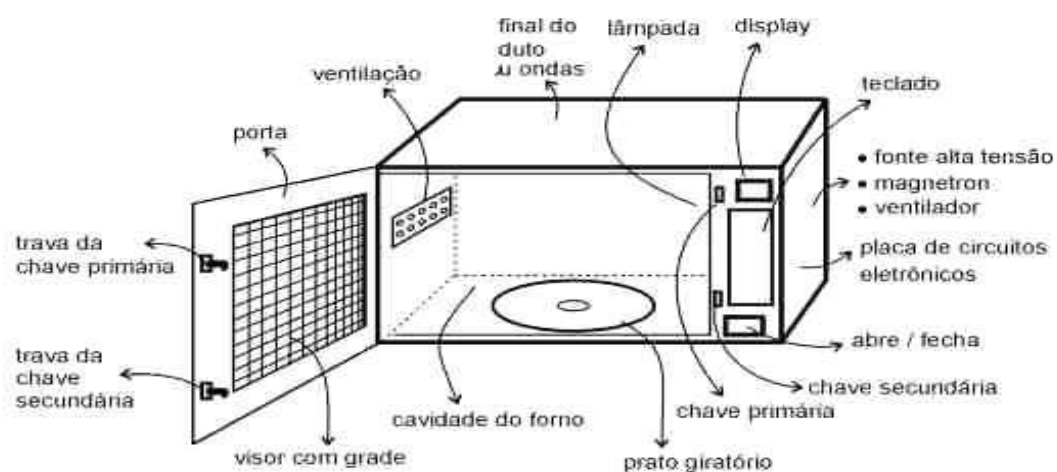
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br>.

Figura 7 – Radiação de corpo negro.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br>

Figura 8 – Moléculas e Luz



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br>

O OP constitui um instrumento (textos, trechos de filmes, esquemas, desenhos, fotos, pequenas frases afirmativas, perguntas, apresentações em computador, mapas conceituais, etc.).

2.3.2.3 Terceira etapa

Nesta etapa, parte muito importante da aplicação do produto educacional, os alunos têm a oportunidade de realizar o experimento no computador, etapa na qual os mesmos

participam diretamente do processo de ensino e aprendizagem. As descrições das simulações estão detalhadas no Produto.

Durante essa interação o aluno recebe um roteiro para estudo que deve ser lido e depois as questões contidas no mesmo sobre os conceitos explorados pela simulação devem ser respondidas.

A simulação – Esta etapa contou com a apresentação da simulação aos alunos e a outra na realização da simulação em grupos de dois ou três alunos no laboratório de informática e no final um questionário que eles poderiam responder durante a realização do experimento.

2.3.2.4 Quarta etapa

Teste final – O teste final é um questionário aplicado individualmente aplicado depois da simulação, destina-se a verificação de aprendizagem significativa por parte dos alunos. Foi observado que, apesar complexidade dos assuntos, com o tempo os alunos vão conseguindo extrair mais informações das simulações e uma maior compreensão sobre os conteúdos.

Na sequência abaixo, indicadas por figuras, podemos observar as perguntas do teste final de cada tópico e as respostas de alguns alunos.

2.4 TESTE FINAL

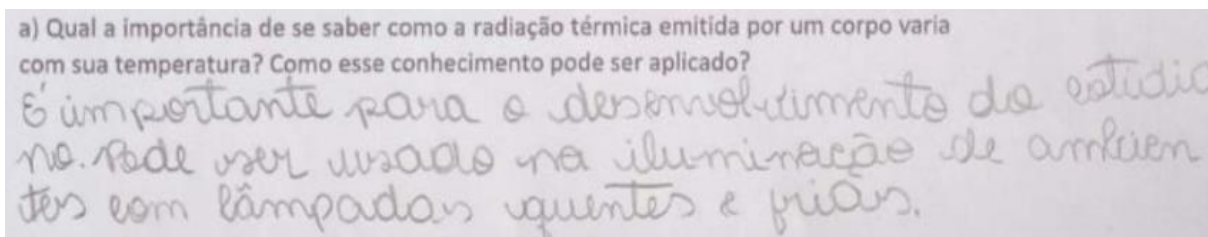
Na aplicação deste produto, foram utilizados computadores (desktops, notebooks) e celulares que funcionassem com HTML 5, projetor multimídia utilizado pelo professor para apresentar as simulações, assim como, roteiros impressos usados como auxílio nas aulas expositivas e como guia para os alunos responderem os questionários dos experimentos.

1– Radiação de Corpo Negro.

Responda:

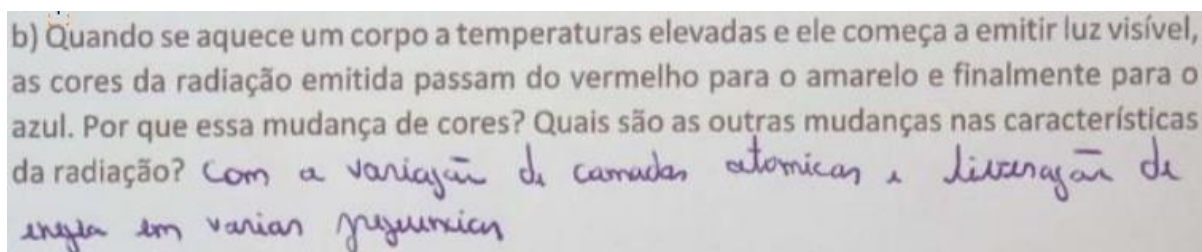
a) Qual a importância de se saber como a radiação térmica emitida por um corpo varia com sua temperatura? Como esse conhecimento pode ser aplicado?

Figura 9 – Pergunta e a resposta do estudante.



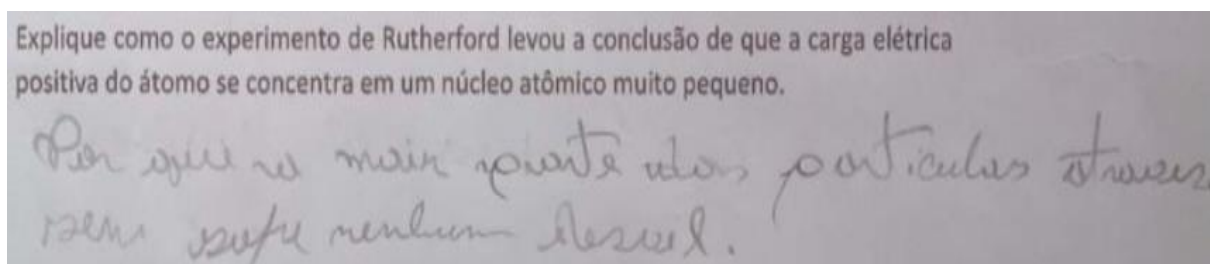
b) Quando se aquece um corpo a temperaturas elevadas e ele começa a emitir luz visível, as cores da radiação emitida passam do vermelho para o amarelo e finalmente para o azul. Por que essa mudança de cores? Quais são as outras mudanças nas características da radiação?

Figura 10 – Pergunta e a resposta do estudante.



2 – O Experimento de Rutherford.

Figura 11 – Pergunta e a resposta do estudante.



3 – Moléculas e luz.

a) Explique porque a maior parte da radiação ultravioleta (principalmente a UV-B) emitida pelo Sol não chega à superfície terrestre. Vejamos as respostas dos alunos para estas perguntas na Figura 9.

Figura 12 – Pergunta e a resposta do estudante.

Explique porque a maior parte da radiação ultravioleta (principalmente a UV-B) emitida pelo Sol não chega à superfície terrestre.

ela é absorvida pela camada de ozônio

b) Explique qual a importância das interações entre a radiação emitida pela superfície da Terra e certos gases na atmosfera para a manutenção da temperatura da superfície e da atmosfera nos níveis atuais.

Figura 13 – Pergunta e resposta do estudante.

Explique qual a importância das interações entre a radiação emitida pela superfície da Terra e certos gases na atmosfera para a manutenção da temperatura da superfície e da atmosfera nos níveis atuais.

*manter a temperatura no nível ideal.
e regular o efeito estufa. Contribui para
evitar ideologias.*

c) Explique como um forno de micro-ondas funciona.

Figura 14 – Pergunta e resposta do estudante.

c) Explique como um forno de micro-ondas funciona.

*os micro-ondas faz com que as moléculas
vibrem em certa frequência fazendo com que se
aqueça os alimentos*

2.5 RECURSOS E MATERIAIS

Na aplicação deste produto, foram utilizados computadores (desktops, notebooks) e celulares que funcionassem com HTML 5, projetor multimídia utilizado pelo professor para apresentar as simulações, assim como, roteiros impressos usados como auxílio nas aulas expositivas e como guia para os alunos responderem os questionários dos experimentos.

2.6 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

2.6.1 Local de aplicação

O produto educacional foi aplicado em três turmas de 3º Ano do ensino médio, no turno tarde, da E.E.M. Padre Arimatéia Diniz, da rede Estadual do Ceará, localizada na zona urbana do município de Cascavel/Ce. As turmas eram compostas por uma média de 30 alunos, na faixa etária de 17 a 19 anos. Esta escola conta com um laboratório de informática amplo, computadores relativamente novos e um bom suporte de internet capaz de atender a uma demanda média de 30 alunos por vez.

A E.E.M. Padre Arimatéia Diniz, funciona em três turnos em ensino regular e turmas de EJA à noite. Vale destacar que a escola tem uma matrícula anual de cerca de um mil e duzentos (1200) alunos, de várias localidades e regiões da cidade, tornando assim, qualquer trabalho pedagógico um grande desafio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a análise dos resultados dos pré-testes seguimos uma das obras de referência em Análise de Conteúdo de classe ou grupo a de Laurence Bardin (1977) e o artigo de Cardoso e Dickiman (2012). Definimos classes para grupos de respostas afins que denotam um conhecimento prévio dos alunos bem definido, mal definido ou simplesmente ausente.

Neste capítulo, são discutidos e apresentados os resultados da sondagem inicial ou pré-teste e o teste final. Trata-se de uma análise das respostas apresentadas pelos estudantes no pré-teste e do teste final. Ambos os testes foram elaborados com questões subjetivas (abertas). o pré-teste tinha o objetivo de analisar os conhecimentos prévios (Subsunçores) sobre os conteúdos a serem trabalhados na sequência didática aplicada. Por ou lado, o teste final, foi elaborado com o objetivo, verificar se os estudantes adquiriram conhecimentos científicos sobre os assuntos da sequência.

Para esta etapa do trabalho, utilizou-se da análise de conteúdo de Bardin (1977), de acordo com as respostas dos estudantes sobre: a Radiação do corpo negro, o Experimento de Rutherford e Moléculas e Luz. A unidade de registro (UR) está amparada no pensamento de Vygotsky (1998), e tem apoio no trabalho de Barbosa e Batista (2018). Para Moraes (1999), a análise do material se processa de forma cíclica e circular, isto é, os dados não falam por si. É necessário extrair deles o significado. As UR foram definidas como:

UR.1. Conhecimento espontâneo: ao utilizar-se do senso comum, o aluno não apresenta resposta que tenha relação com os conceitos físicos e nem concepções científicas. Esta etapa é dita não-consciente, porque o aluno se volta para o objeto em análise.

UR.2. Conhecimento efetivo: a resposta apresenta conceitos físicos, mas não apresentam clareza ao explicar os conceitos cientificamente. O estudante neste momento está na zona de transição entre um pensamento não-consciente e o pensamento consciente.

UR.3. Conhecimento conceitual: a resposta apresenta conceitos físicos sólidos, embora consciente de suas habilidades o estudante usa argumentos de outros em suas respostas.

UR.4. Conhecimento procedural: a resposta é fundamentada, utilizando-se de habilidades. O conhecimento nesta etapa é abstrato, mas se apresenta de modo claro

UR.5. Conhecimento Metacognitivo: a resposta nesta etapa demonstra conhecimento físico aprofundado, diferente do conhecimento procedural, esse conhecimento está relacionado com a interdisciplinaridade.

Os resultados apresentados a seguir são discutidos dentro de quatro perspectivas: a mediação, a internalização dos conceitos, a Zona de Desenvolvimento Proximal e a formação de conceitos.

3.1 Análise dos pré-testes

Para a análise dos resultados dos pré-testes seguimos uma das obras de referência em Análise de Conteúdo de classe ou grupo a de Laurence Bardin (1977) e o artigo de Cardoso e Dickman, 2012. Definimos classes para grupos de respostas afins que denotam um conhecimento prévio dos alunos bem definido, mal definido ou simplesmente ausente.

Chamamos a primeira classe de Subsunção Presente (SP), na qual agrupamos alunos que demonstraram conhecimento prévio dos conceitos fundamentais para a aprendizagem dos conteúdos a serem trabalhados em cada simulação. Na classe Subsunção Mal Definido (SMD) agrupamos estudantes que se utilizam de conceitos relevantes para a questão, mas sem relacionar corretamente esses conceitos entre si ou com a situação posta pela pergunta. Subsunção Ausente (SA) reúne os discentes que responderam incorretamente, sem relacionar ou mencionar os conceitos implícitos que dizem respeito à questão, ou os que não responderam.

Note-se que diferentemente da referência, usamos nos pré-testes mais de uma questão relacionada ao mesmo subsunção. Embora isso aumente a complexidade da análise, também permite investigar se o conceito pertinente se encontra na estrutura cognitiva do estudante utilizando mais de um enfoque (OLIVEIRA CARDOSO, 2012).

3.1.1 Análise dos Pré-Testes sobre Radiação de Corpo Negro

As quatro questões do pré-teste procuram sondar a presença dos seguintes conceitos: 1) A existência de ondas eletromagnéticas e o fato de que transportam energia; 2) A divisão do espectro eletromagnético em diferentes regiões, a classificação das ondas eletromagnéticas em termos da frequência e o uso de diferentes frequências em diferentes aplicações; 3) A emissão de radiação térmica pela matéria e a dependência com a temperatura dessa radiação.

Quando os três conceitos aparecem nas respostas e corretamente relacionados entre si, classificamos os estudantes na classe SP. No caso de um ou dois conceitos aparecerem corretamente utilizados e relacionados entre si, a classe SMD é utilizada. Quando nenhum dos três conceitos aparece corretamente utilizado, utilizamos a classe SA. Um total de 32 pré-testes foi respondido pelas 3 turmas, de forma individual.

O pensamento espontâneo não-consciente, aparece quando as repostas dos estudantes utilizam concepções, palavras e ideias relacionadas ao seu modo de vida, e pela carência de conceitos científicos. Para Vygotsky (1998), o estudante não tem consciência do uso de conceitos intuitivos ao fazer uso destes.

A Tabela 5 apresenta as respostas de alguns estudantes sobre a questão 2, item a) do pré-teste sobre radiação de corpo negro.

Tabela 5 – Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: Corpos que não emitem luz própria como a do Sol, emitem energia de alguma forma?

Aluno 1	Sim, qual não sei.
Aluno 2	Sim.
Aluno 3	Sim, energia solar.
Aluno 4	No céu a noite podemos ver a lua clareando junto com as estrelas se formando.
Aluno 5	Sim, são suas próprias fontes de energias.
Aluno 6	Não emitem sua luz própria.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pelas respostas da Tabela 5 apresentadas pelos alunos no pré-teste foi possível perceber que classe de subsunção predominante foi SA. As respostas em sua maioria, praticamente não apresentaram teor científico no que se refere ao conhecimento prévio dos alunos e nem ligação com a pergunta em questão.

3.1.2 Análise dos Pré-Testes sobre Experimento de Rutherford

As quatro questões do pré-teste aplicado antes da simulação sobre o Experimento de Rutherford buscavam sondar os estudantes sobre os seguintes conceitos: 1)

Conhecimento sobre os constituintes fundamentais da matéria, a nível do átomo e seus constituintes; 2) A força coulombiana e sua ação sobre partículas carregadas; 3) Conhecimento prévio sobre o experimento em si.

Aqui classificamos os alunos como SP quando os dois primeiros conceitos se apresentam corretamente relacionados nas respostas, SMD quando pelo menos um deles aparece corretamente utilizado, SA quando nenhum deles aparece. A Tabela 6 apresenta as respostas de alguns estudantes sobre a questão 3 do pré-teste sobre o Experimento de Rutherford.

Tabela 6 – Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: Escreva em algumas linhas o que você sabe sobre o átomo.

Aluno 1	Átomo é um conjunto de moléculas.
Aluno 2	Um átomo é formado e envolto por prótons, elétrons e nêutrons.
Aluno 3	Algo pequeno. Insignificante.
Aluno 4	Átomos são partículas que possuem nêutrons e prótons.
Aluno 5	Átomo é uma unidade básica que consiste num núcleo central de carga elétrica positiva envolta por uma nuvem de elétrons negativos.
Aluno 6	Unidade básica da matéria que consiste num núcleo de carga elétrica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pelas respostas da Tabela 10 apresentadas pelos alunos no pré-teste foi possível perceber que classe de subsunçor predominante foi SMD. As respostas em sua maioria, praticamente apresentaram algum teor científico no que se refere ao conhecimento prévio dos alunos e uma ligeira ligação com a pergunta em questão.

3.1.3 Análise dos Pré-testes sobre Moléculas e Luz

Também com quatro questões, o pré-teste que precedeu a aplicação da simulação sobre Moléculas e Luz buscou investigar o que os estudantes conheciam sobre os seguintes assuntos: 1) O forno de micro-ondas e o aquecimento dielétrico; 2) O efeito estufa; 3) A camada de ozônio da estratosfera terrestre.

Classificamos como SP os estudantes que demonstraram algum conhecimento correto sobre os 3 assuntos, SMD os que responderam corretamente sobre um ou dois dos

assuntos, como SA os que não demonstraram conhecimentos sobre os conceitos envolvidos em nenhum dos três assuntos.

Embora tenhamos mantido a mesma classificação na análise desse pré-teste, convém ressaltar uma diferença importante entre esse pré-teste e os anteriores. Aqui os assuntos abordados no pré-teste têm mais um papel motivacional do que o de serem propriamente subsunçores. O forno de micro-ondas é hoje um eletrodoméstico relativamente acessível e muito popular, o efeito estufa é um assunto tratado cotidianamente na mídia graças à preocupação com o aquecimento global, assim como todo verão é acompanhado de uma campanha midiática sobre uso de protetores solares para proteção contra a radiação UV. Entender como esses fenômenos funcionam tem um grande apelo da experiência cotidiana dos estudantes.

Por outro lado, conceitos importantes para se entender as interações entre fótons e moléculas ilustradas nessa simulação foram abordados de maneira complementar nas simulações previamente aplicadas. A quantização da energia e o conceito de fóton foram abordados na simulação sobre radiação de corpo negro e na aula expositiva dialogada que a precedeu. Átomos (que formam moléculas) e seus constituintes foram abordados durante a aplicação da simulação sobre o experimento de Rutherford e na aula expositiva dialogada que a precedeu. A análise das respostas deste pré-teste está sumarizada na Tabela 7.

A Tabela 7 apresenta as respostas de alguns estudantes sobre a questão 3 do pré-teste sobre Moléculas e Luz.

Tabela 7 – Respostas de alunos no pré-teste quando perguntado: O que é efeito estufa? Quais os gases podem ser considerados gases do efeito estufa?

Aluno 1	Camadas que geram absorção de calor e raios solares.
Aluno 2	Camadas que permitem absorção de calor e raios solares.
Aluno 3	É um fenômeno atmosférico natural responsável pela manutenção da vida na terra.
Aluno 4	O efeito estufa é um ventilador interno que ajuda a propagá-las em todas as direções gerando um corpo eletromagnético.
Aluno 5	Quando a radiação solar penetra na camada de ozônio e não consegue sair e gerando o aquecimento do planeta. CO ₂ , Betano...

Aluno 6	Os gases nacionalmente reconhecidos como gases do efeito estufa pelo protocolo de Kyoto são Dióxido de Carbono (CO ₂).
---------	--

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Pelas respostas da Tabela 11, conclui-se que os alunos não apresentam conceitos físicos exigidos para uma resposta coerente cientificamente. Para Vygotsky (1998) essas respostas são reflexos das interações sociais sofridas pelo indivíduo. Segundo Ausubel, neste caso, a maioria dos alunos apresentam uma visão incompleta (SMD) ou no caso do aluno que não justifica suas respostas, os subsunçores estão ausentes (AS). Basta observar as respostas dos alunos 1 e 2, nas quais os subsunçores são da classe SA, enquanto a resposta do aluno 6 pode ser classificada na classe SMD.

3.1.4 Análise dos Testes Finais

Para analisar os testes finais também nos valem os métodos e a nomenclatura utilizados por Cardoso e Dickson. A categoria **Conceitos Satisfatórios** (CS) agrupa os estudantes que responderam fazendo uso correto dos conceitos e de maneira clara; **Conceitos Insuficientes** (CI) agrupa os discentes que usaram de maneira mal definida os conceitos; e **Conceitos Ausentes** (CA) reúne os alunos que não apresentaram nenhum entendimento sobre a questão posta. O Teste Final, assim como o pré-teste, foram aplicados individualmente. O teste consiste em três questões abertas, cada uma relacionada a um dos assuntos da sequência didática.

Iniciamos a análise pelas perguntas referentes a radiação de corpo negro: Qual a importância de se saber como a radiação térmica emitida por um corpo varia com sua temperatura? Como esse conhecimento pode ser aplicado? Quando se aquece um corpo a temperaturas elevadas e ele começa a emitir luz visível, as cores da radiação emitida passam do vermelho para o amarelo e finalmente para o azul. Por que essa mudança de cores? Quais são as outras mudanças nas características da radiação? Ao analisar esta questão constatou-se que 25,7% dos alunos estão adequados na categoria (CS), ou seja, as respostas estão bem definidas e claras. As respostas de 60,0% dos alunos os colocam na categoria (CI), conceito insuficiente, indica que a resposta está relacionada a pergunta, mas, a justificativa não é clara. Ainda para estas perguntas, quatro alunos, cerca de 14% estão na categoria (CA).

Na sequência, a questão avaliada foi a segunda do Teste Final que se refere ao experimento de Rutherford: Explique como o experimento de Rutherford chegou à conclusão de que a carga elétrica do átomo se concentra em um núcleo atômico muito pequeno. Essa questão envolve conhecimento básico sobre a estrutura da matéria e sobre o experimento da folha de ouro realizado por Rutherford. A análise desta questão mostrou que 68,60% dos alunos estão adequados nesta categoria (CS), ou seja, as repostas são claras e apresentam conceitos físicos adequados. Três alunos ficaram na categoria (CI), enquanto oito alunos ou 14% ficaram na categoria (CA).

As últimas perguntas analisadas foram as questões sobre Moléculas e Luz do Teste Final: Explique porque a maioria da radiação ultravioleta (principalmente a UV-B) emitida pelo Sol não chega à superfície terrestre. Explique, qual a importância das interações entre a radiação emitida pela superfície da Terra e certos gases na atmosfera para a manutenção da temperatura da superfície e da atmosfera nos níveis atuais. Explique como um forno de micro-ondas funciona.

Para essa questão, percebeu-se um equilíbrio maior entre as classes utilizadas para a análise. Do universo de alunos, 48,6% responderam corretamente às perguntas do Teste Final, enquadrando-se na categoria (CS) enquanto 31,4% estão na categoria insatisfatória (CI) e 20,0% ficaram na categoria (CA), apresentando respostas que não tem ligação alguma com as questões ou até mesmo não as respondendo. Nas tabelas 8, 9 e 10 temos as respostas de alguns alunos escolhidos aleatoriamente.

Tabela 8 – Respostas de alguns estudantes para o item a) da questão três, de Radiação do corpo Negro do Teste Final.

Aluno 1	É importante para o desenvolvimento do cotidiano pode ser usado na iluminação de ambientes com lâmpadas quentes e frias.
Aluno 2	Para a criação de novas tecnologias, aumentando a comodidade como o controle remoto como também na medicina.
Aluno 3	À medida que a temperatura aumenta, ela também aumenta.
Aluno 4	No desenvolvimento de novas tecnologias, na iluminação de ambientes com lâmpadas quentes e frias.
Aluno 5	Iluminação de ambientes com vários tipos de lâmpadas, no dia a dia das pessoas, na indústria e etc.
Aluno 6	Para o uso de novas tecnologias e na iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No item a) da primeira questão, de Radiação de Corpo Negro, procurou-se também buscou-se investigar o conhecimento conceitual. Uma parte das respostas denotam que os estudantes entenderam a pergunta, embora as respostas ainda fossem de forma incompleta como ocorreu com as outras perguntas avaliadas. Uma parte significativa dos estudantes não conseguiram responder utilizando conceitos corretos, o que pode ser comprovado na tabela 8 acima.

Tabela 9 – Respostas de alguns estudantes para a questão dois do Teste Final – Experimento de Rutherford.

Aluno 1	Porque a maioria das partículas atravessavam a folha de ouro sem sofrer desvio.
Aluno 2	Porque a maioria das partículas atravessavam a folha de ouro sem sofrer desvio, enquanto uma pequena parte era repelida de volta.
Aluno 3	As partículas alfa atravessam sem fazer desvio e uma minoria retornava.
Aluno 4	Porque a maioria das partículas alfa atravessavam a folha de ouro sem sofrer desvio, enquanto uma pequena parte era repelida de volta.
Aluno 5	No experimento de Rutherford eram lançadas partículas alfa sobre uma folha de ouro, onde algumas partículas passavam direto e outras eram repelidas.
Aluno 6	A maior parte das partículas atravessam a folha sem sofrer desvio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

No item a) da questão três, de Moléculas e Luz: Explique porque a maior parte da radiação ultravioleta (principalmente a UV-B) emitida pelo Sol não chega à superfície terrestre. Nesta questão também buscou-se investigar o conhecimento conceitual. Uma parte das respostas denotam que os estudantes entenderam a pergunta, embora as respostas ainda fossem de forma incompleta. Uma parte significativa dos estudantes não conseguiram responder utilizando conceitos corretos. Na tabela 10 apresenta-se as respostas de alguns estudantes.

Tabela 10 – Respostas de alguns estudantes para o item a) da questão três, de Moléculas e Luz do Teste Final.

Aluno 1	Porque uma boa parte para na camada de ozônio e uma parte menor consegue atravessar.
Aluno 2	São filtradas pela camada de ozônio.
Aluno 3	Porque ela é filtrada pela camada de ozônio.
Aluno 4	Porque boa parte dela fica na camada de ozônio e apenas uma pequena parte consegue atravessar.
Aluno 5	Interage com os gases da atmosfera terrestre.
Aluno 6	A maior parte dela chega a superfície terrestre e outra parte freiada pela camada de ozônio.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Comparando o resultado da análise das questões do teste final com as análises dos pré-testes podemos obter indícios de aprendizagem significativa.

Comparando as porcentagens de respostas nos pré-testes classificadas como SP com as porcentagens de respostas no teste final classificadas como CS, vemos que para os três conteúdos a fração de respostas CS no teste final é bem maior que a fração de respostas SP nos pré-testes. De igual modo, para os dois primeiros conteúdos as porcentagens de respostas CA no teste final são menores que a fração de respostas AS nos pré-testes.

Para o conteúdo trabalhado com a simulação Moléculas e Luz houve um pequeno aumento na fração CA do teste final em relação à fração SA do pré-teste (de 9,1% para 20,0%), mais do que compensado pelo aumento da fração CS do teste final em relação à fração SP do pré-teste (de 9,1% para 48,6%). Observa-se que uma parte significativa dos estudantes citou corretamente o resultado do experimento.

Quando comparamos as respostas dos alunos 5 e 6, respectivamente nota-se uma resposta mais completa e a outra sem justificativa. Outra parte bastante significativa não consegue descrever corretamente os conceitos nas respostas, demonstrando que ainda não adquiriram o conhecimento efetivo, que seria a internalização dos conceitos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de ensino e aprendizagem apresentado neste trabalho tem como principal objetivo apresentar conceitos de Física Moderna, mais especificamente a Física Quântica aos alunos de 3º Anos do ensino médio, tendo como resultado a aplicação deste produto educacional.

O produto educacional (Apêndice A) é uma sequência didática composta por três tópicos de Física Quântica, a saber: a radiação do corpo negro, o experimento de Rutherford e moléculas e luz, através de experimentos simulados. Destaca-se que esses experimentos podem ser abertos em celulares utilizados pelos alunos.

Optamos pelo uso dos meios disponíveis do (LEI) Laboratório de Ensino de Informática, tendo em vista que os alunos estão inseridos numa sociedade que tem acesso, mesmo que de maneira tímida para alguns as (TICs) Tecnologias da Informação e Comunicação em seu cotidiano. O uso dessas tecnologias propicia novos caminhos e novas estratégias para a disciplina de Física deixando-a mais próxima às pessoas.

Mesmo que de maneira tímida, vários alunos tiveram contato em anos anteriores do ensino médio com alguns conceitos relacionados aos conteúdos trabalhados nas aulas expositivas dialogadas, o que contribuiu para o processo de ensino e aprendizagem. Vale ressaltar que normalmente os conteúdos de Física no Ensino Médio, são classificados como muito difíceis.

Segundo a literatura, abordagens inadequadas dos conceitos físicos desde o Ensino Fundamental, tem provocados prejuízos incalculáveis ao ensino de Física e a aprendizagem durante toda a trajetória do aluno, seja no ensino médio, seja em cursos superiores.

Dentre os principais fatores para que isso ocorra são à formação acadêmica dos professores, que muitos casos não são licenciadas em Física, uso de metodologias que não contribuem na prática nem relacionam os conceitos com situações do dia a dia, a falta de material didático, obrigando ao professor utilizar-se do livro didático como o principal e único recurso em sala de aula.

É necessário destacar a existência de outras atividades dentro da sequência didática que se mostraram fundamentais para que os objetivos relacionados à aprendizagem fossem atingidos, como as aulas expositivas dialogadas, que foram baseadas em uma abordagem problematizadora, a partir das respostas dadas aos pré-testes.

A comparação das porcentagens de respostas satisfatórias dadas nos pré-testes com as do teste final nos fornece indícios de que a sequência didática tenha propiciado a

aprendizagem significativa dos estudantes, embora para um dos tópicos, Radiação de Corpo Negro, a porcentagem de respostas com Conceitos Insuficientes (CI) ainda tenha permanecido alta no teste final.

REFERÊNCIAS

ALVARES, Beatriz Alvarenga; GUIMARÃES, Carla da Costa. **Física: Contexto e Aplicações: Ensino Médio**. 2ª. ed. São Paulo: Scipione, 2017.

ANDREAZI, F. **BNCC: O que é a Base Nacional Comum Curricular e qual é o seu objetivo**. [S.I.:s.n.], 2019. Disponível em: <https://sae.digital/bncc-o-que-e-qual-e-o-seu-objetivo/>. Acesso em: 18 out.2022.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Tradução: Lígia Teopisto. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interamericana, 2003.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Persona, 1977.

BARBOSA, R. G.; BATISTA, I. DE L. Vygotsky: Um Referencial para Analisar a Aprendizagem e a Criatividade no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 1, p. 49–67, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm#:~:text=L9394&text=Estabelece%20as%20diretrizes%20e%20bases%20da%20educa%C3%A7%C3%A3o%20nacional.&text=Art.%201%C2%BA%20educa%C3%A7%C3%A3o%20abrange,civil%20e%20nas%20manifesta%C3%A7%C3%B5es%20culturais. Acesso em: 15 fev.2023.

CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 15 fev.2023.

DAVID, Halliday, ROBERT, Resnick, WALKER, Jearl. **Os Fundamentos de Física, volume 4: óptica e física moderna; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi**. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA. Disponível em: <https://ib.usp.br/ecologia>. Acesso em: 15 fev.2023.

FREITAS, Ana Lúcia Souza de; FORSTER, Mari Margarete dos Santos. Paulo Freire na formação de educadores: contribuições para o desenvolvimento de práticas crítico-reflexivas. **Educar em Revista**, p. 55-70, 2016.

GARCIA, Vera Clotilde Vanzetto. Formação de professores de matemática e mudanças curriculares na escola. In: **A Matemática na escola: novos conteúdos, novas abordagens** / organizadoras Elisabete Zardo Búrigo ... [et al.]. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

GOV. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 15 fev.2023.

HALLIDAY, David, 1916-2010. **Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna** / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual**; trad. Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina. 9ª ed. - Porto Alegre: Bookman, 2002.

IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima). **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC**. Disponível em:
https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html#:~:text=O%20Painel%20Intergovernmental%20sobre%20Mudan%C3%A7a,a%20mudan%C3%A7a%20do%20clima%2C%20suas.
 Acesso em: 15 fev.2023.

MORAES, R. **Análise de conteúdo**. Revista Educação, Porto Alegre, RS, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

OLIVEIRA CARDOSO, Stenio Octávio de. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, 2012.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

SILVA, Chayene Cristina Santos Carvalho da. **As contribuições das tecnologias digitais da informação e comunicação para a aprendizagem**. VI Congresso Nacional de Educação. Conedu. 2017.

STRINGASCI, Mirian Denise. A Radiação do Corpo Negro e sua Influência sobre os Estados dos Átomos. **São Carlos:[sn]**, 2011.

TAVARES, R. Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências. **Revista online Ciência & Cognição**, v. 13, n. 2, p. 99-108, 2008.

UNEP. Disponível em: <https://www.unep.org>. Acesso em: 15 fev.2023.

VÁLIO, Adriana Benetti Marques. **Ser protagonista : física, 3º ano : ensino médio /** Adriana Benetti Marques Válido ... [et al.] ; organizadora Edições SM ; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida por Edições SM ; editora responsável Ana Paula Souza Nani. 3. Ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: O desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 6.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

APÊNDICE



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 09

FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

PRODUTO EDUCACIONAL

NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA: ROTEIROS PARA EXPERIMENTAÇÃO
SIMULADA

Mossoró/RN

2022

FRANCISCO FERREIRA DA SILVA

**NOÇÕES DE FÍSICA QUÂNTICA: ROTEIROS PARA EXPERIMENTAÇÃO
SIMULADA**

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Noções de física quântica: roteiros para experimentação simulada, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 09 – UFERSA, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof.º Dr. Taciano Amaral Sorrentino.

Mossoró/RN

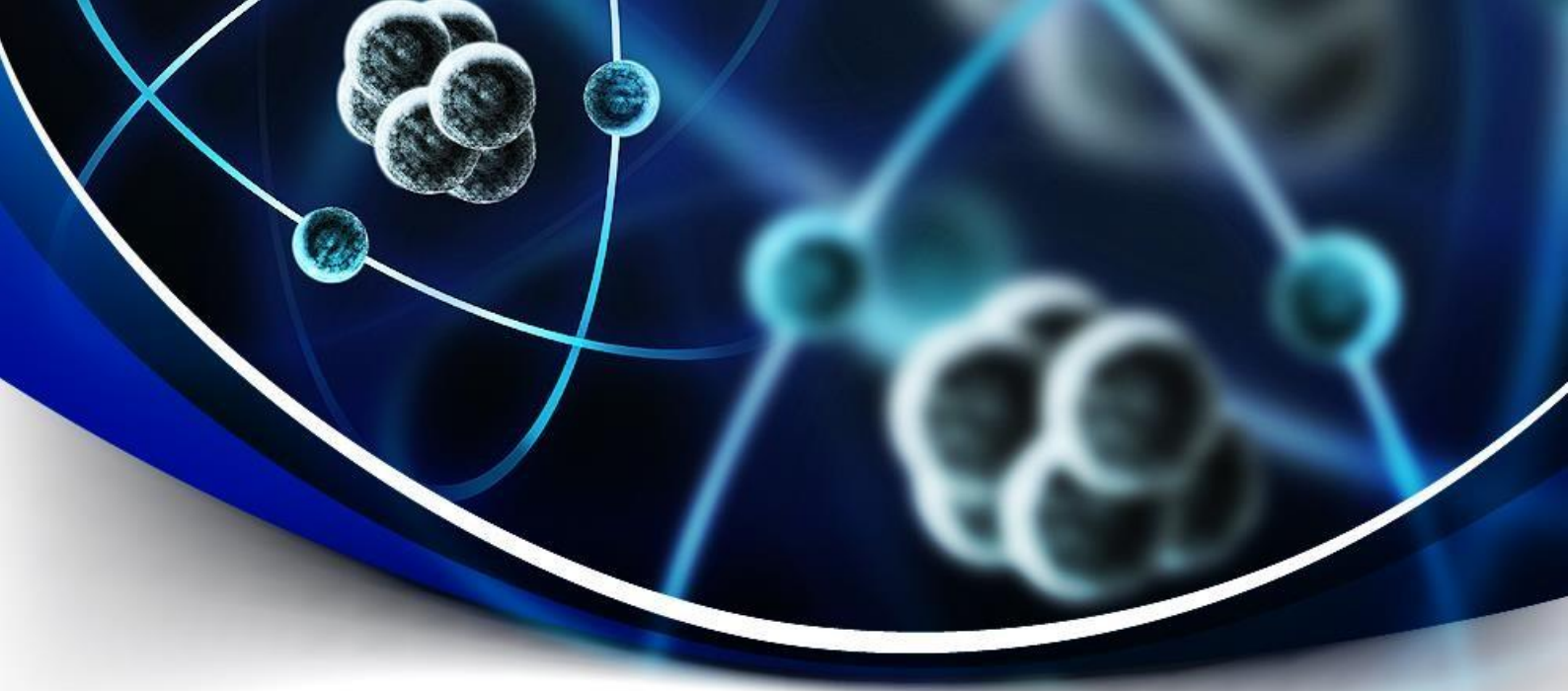
2022

AGRADECIMENTOS

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

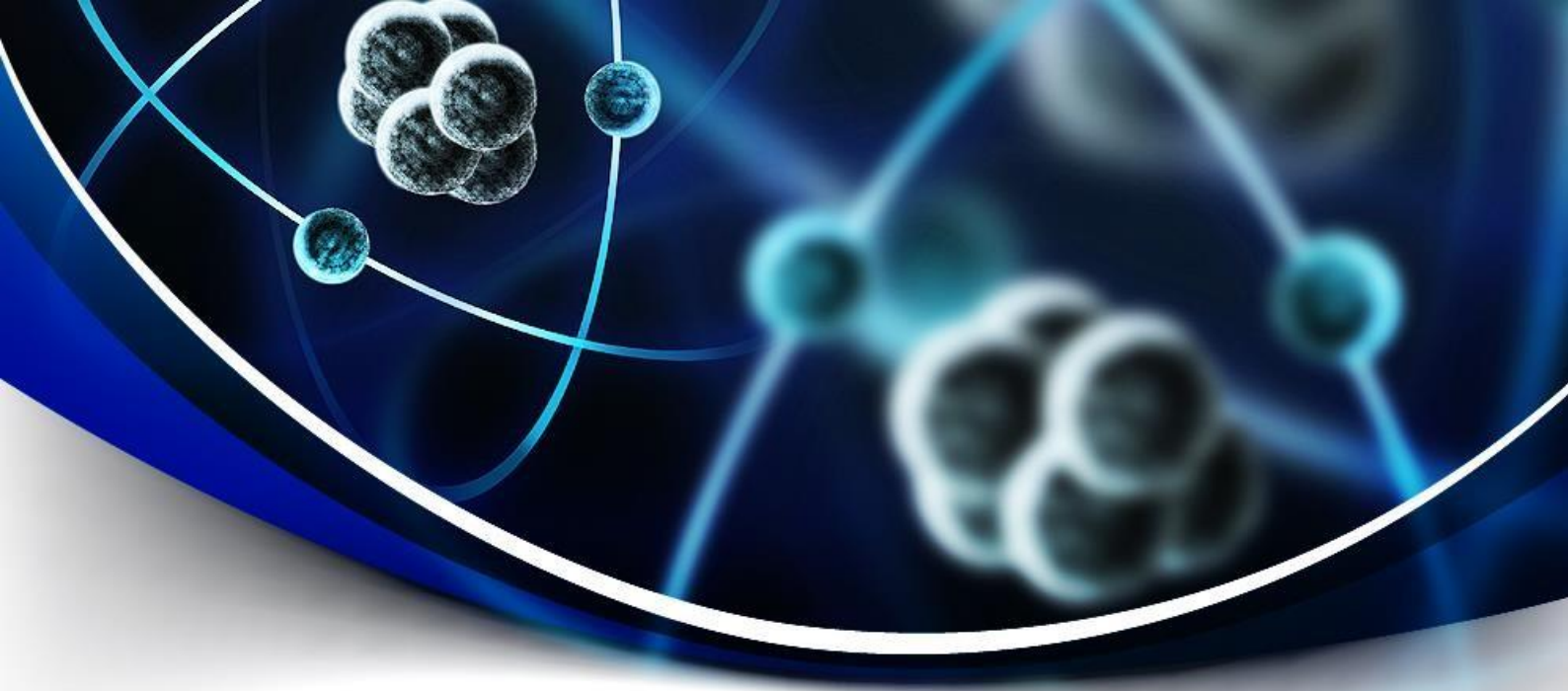
SUMÁRIO

	APRESENTAÇÃO.....	04
1	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO.....	05
1.1	Radiação do Corpo Negro: Roteiro para Experimentação Virtual.....	06
1.2	Fundamentação Teórica.....	07
1.3	Experimento Virtual.....	10
1.4	Atividades.....	12
2	O EXPERIMENTO DE RUTHERFORD.....	16
2.1	O Experimento de Rutherford: Roteiro para Experimentação Virtual.....	17
2.2	Fundamentação Teórica.....	19
2.3	Experimento Virtual.....	21
2.4	Atividades.....	24
3	MOLÉCULAS E LUZ.....	26
3.1	Moléculas e Luz: Roteiro para Experimentação Virtual.....	27
3.2	Fundamentação Teórica.....	29
3.3	Experimento Virtual.....	32
3.4	Atividades.....	34
	REFERÊNCIAS.....	37



Apresentação

Caríssimo professor, o mundo em que vivemos tem passado por várias mudanças. A escola, não é mais a mesma que conhecemos a algumas décadas ou até mesmo a alguns anos. Constantes revoluções tecnológicas têm obrigado escolas e professores a se adaptarem a um novo momento e, com isso, se faz necessário uma mudança no ensino de Física Moderna, principalmente na Física Quântica. A Física Moderna que antes era desconhecida pela sociedade agora ganha espaço e exige da escola e principalmente do professor um esforço para seu ensino. Foi pelas dificuldades impostas quer pela falta de material didático quer pela dificuldade de encontrar o mesmo, que pensamos em fazer esse produto educacional. O presente produto educacional tem como objetivo principal nortear o trabalho de nossos professores num dos assuntos mais interessante no ensino de Física, a Física Quântica.



1. Radiação de Corpo Negro

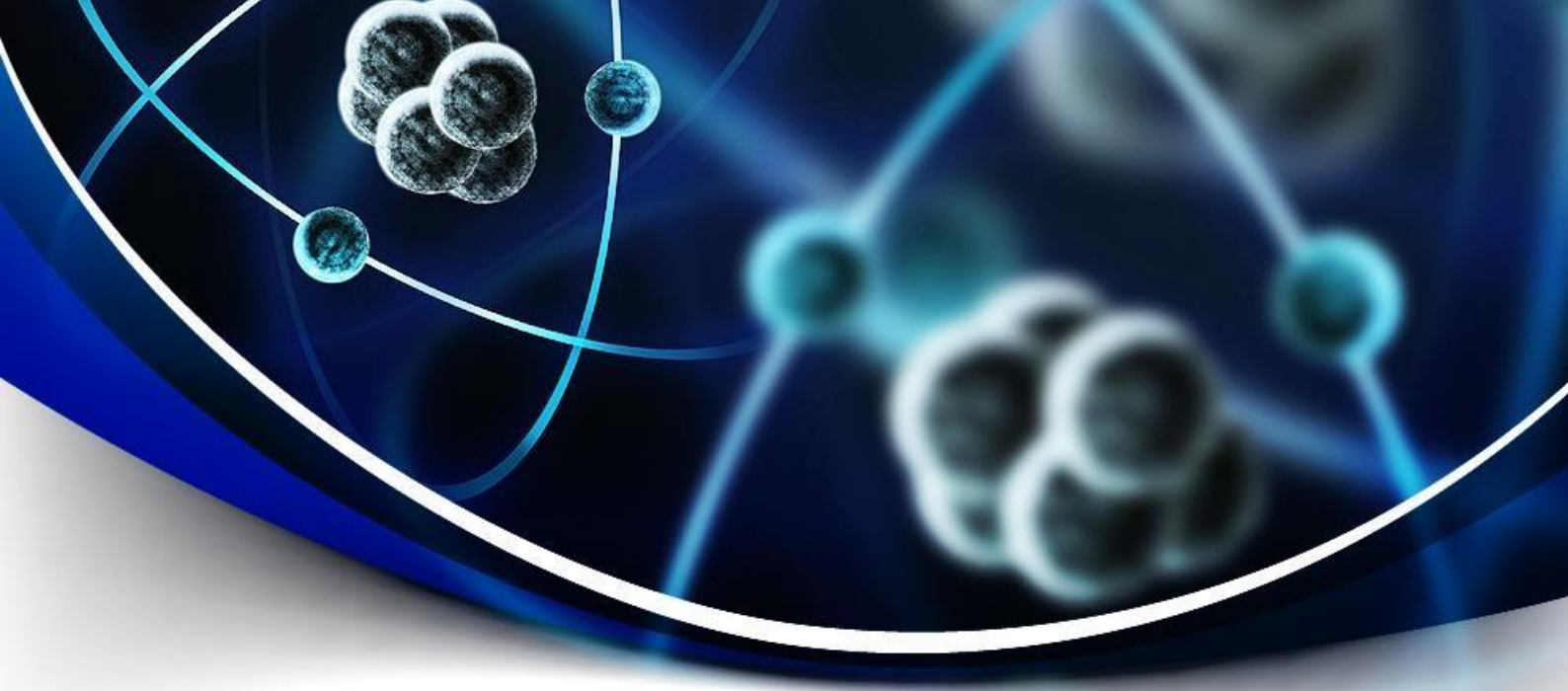
Orientações ao Professor

Duração da aula: 50 minutos, uma (1) aula.

Conhecimentos prévios trabalhados pelo professor com o aluno: Ondas e Termodinâmica.

Estratégias e recursos da aula: Aula interativa, aula conceitual.

O professor deverá estimular a curiosidade dos alunos sobre o tema a ser estudado (Radiação do corpo negro), perguntando: "Por que quando aproximamos nossa mão de um ferro de passar roupas quando ligado, sentimos uma temperatura elevada? E por que determinados materiais quando aquecidos emitem luz (exemplo: metal a alta temperatura)?"

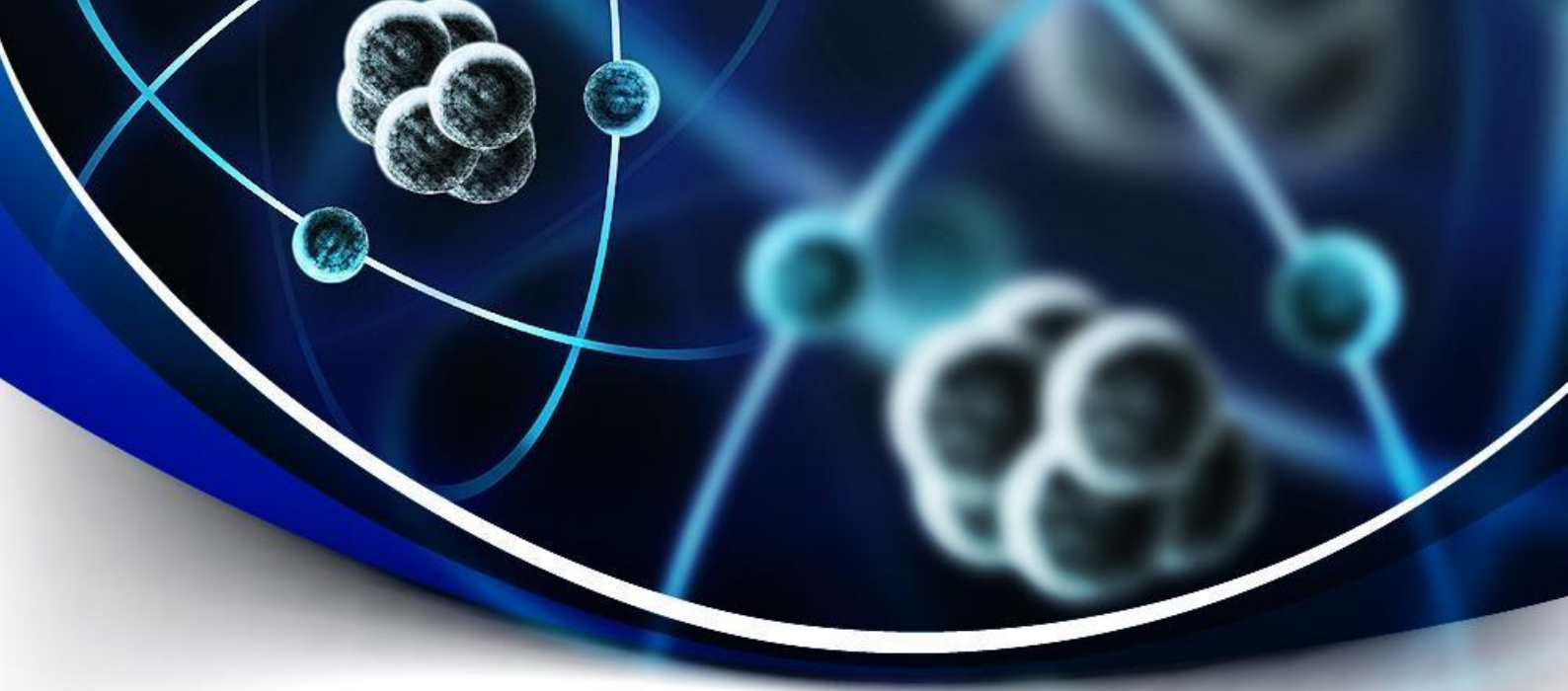


1.1. Radiação do Corpo Negro: Roteiro para Experimentação Virtual

Objetivos:

- Compreender a origem das ondas eletromagnéticas.
- Conceituar o que é um Corpo Negro e qual a sua importância para a Física Quântica.
- Relacionar a radiação de corpo negro a fenômenos com o cotidiano dos alunos.

Quando uma teoria não consegue explicar algum ou alguns fenômenos dentro do seu campo de atuação é necessário uma nova teoria. Foram as limitações da Física Clássica e um número elevado de fenômenos dentre os quais: o magnetismo da matéria, a tabela periódica, o efeito fotoelétrico, etc., não explicados por ela que permitiram e de uma certa forma empurraram os cientistas em direção a Física Quântica. Os fundamentos dessa nova teoria foram propostos por Planck e Einstein, entre o final do séc. XIX e o início do séc. XX.



1.2. Fundamentação Teórica

A teoria quântica vem se estabelecer, em 1925, com o trabalho de Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg. Schrödinger postulou uma equação que permite calcular os níveis de energia e a probabilidade de se encontrar uma partícula em determinada região.

Em Física, hipoteticamente, um corpo negro é um corpo ideal que não reflete radiação eletromagnética. Em outras palavras ele absorve toda radiação eletromagnética que incide sobre ele, sem refletir nenhuma radiação, e emite radiação térmica devida ao movimento das cargas elétricas na matéria que o constitui. Coube a Ludwin Boltzmann (1844 – 1906), Josef Stefan (1835 – 1893) e Wilhelm Wien (1864 – 1928) já no final do séc. XIX estudar experimentalmente o espectro emitido por esse tipo de radiador. No caso de um corpo negro ideal, a energia irradiada é igual a energia absorvida, quando esse corpo está em equilíbrio.

Na natureza não encontramos corpos negros ideais. Hoje, sabemos que um bom modelo de corpo negro são as estrelas, como o Sol, no qual a radiação produzida em seu interior é irradiada para o espaço sideral sendo responsável pela vida na Terra.

Um outro bom exemplo de corpo negro que podemos usar é uma lâmpada de filamento. O filamento metálico é envolto por um bulbo de vidro fechado que contém um gás a baixa pressão. O filamento é um elemento resistência variável, que se aquece com a passagem da uma corrente elétrica (efeito Joule). O filamento mais utilizado é o de tungstênio, pois ele emite luz visível a uma temperatura mais elevada. Uma churrasqueira com carvão em brasa, um ferro de passar roupas e determinados fornos também podem ser usados como exemplo de corpos negros.

As Lâmpadas quentes e frias



Figura 1 – Lâmpadas com diferentes “temperaturas de cor”. Fonte: <https://www.ourolux.com.br>.

A iluminação de ambientes requer cuidados especiais, não só pela estética e gastos, mas também, pelo tipo de lâmpadas utilizadas. Para evitar erros na hora de escolher é melhor pesquisar o tipo de lâmpada que se adequa melhor ao ambiente. Uma das opções é saber a diferença entre luz quente e luz fria. O conforto que um ambiente bem iluminado pode proporcionar é resultado de conhecimento.

Foi próximo aos meados do Sec. XX que foi criado um sistema para classificar a tonalidade da luz emitida pelas lâmpadas relacionando essas cores as temperaturas. Lembrando que o Sol emite luz branca como um corpo negro a 5800 K, faz-se uma analogia com as cores das lâmpadas.

Luz quente e luz fria não se referem à temperatura da lâmpada, e sim à tonalidade de cor fornecida ao ambiente. Para termos uma noção melhor, mostraremos abaixo as principais diferença entre as cores e temperatura. Quanto mais próxima da cor branca estiver a luz, mais alta será a temperatura e quanto menos próxima ao branco menor será a temperatura em Kelvin.

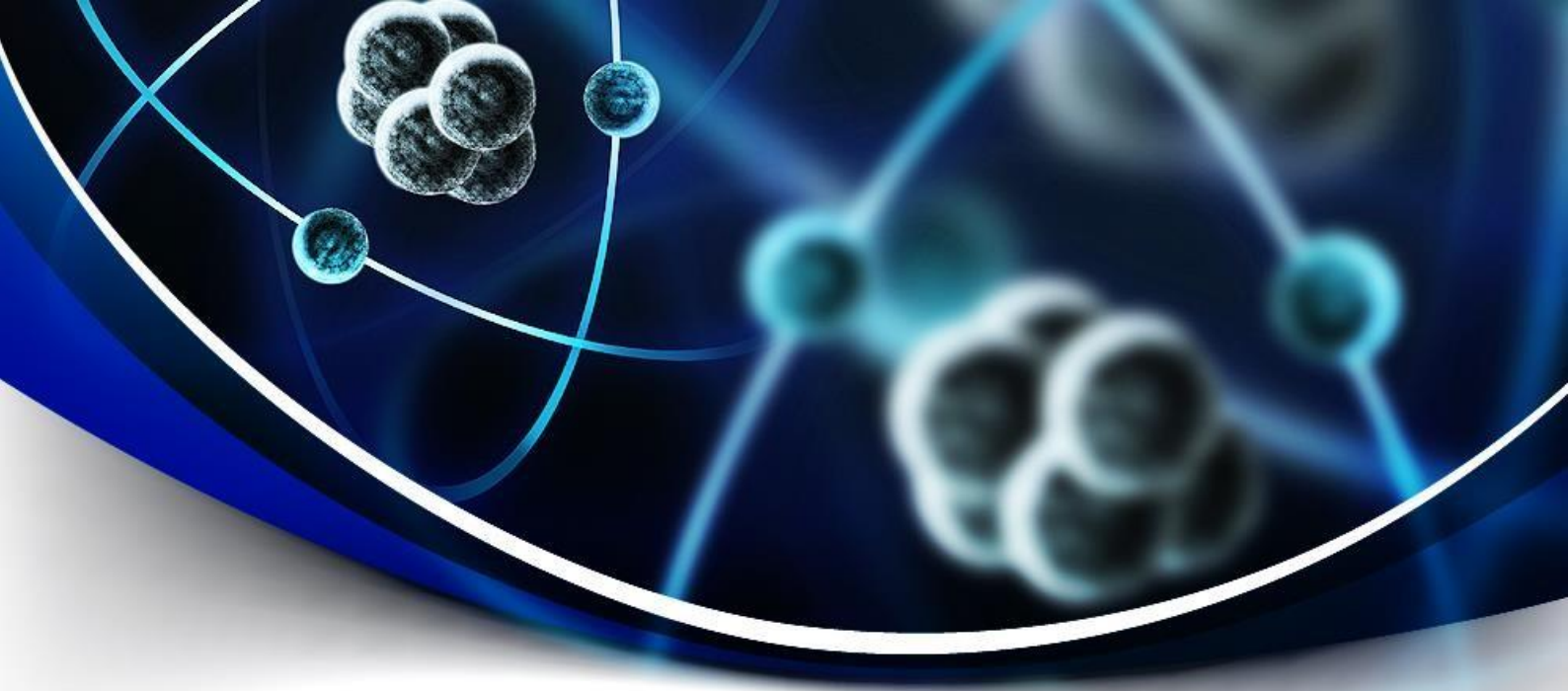
1 – Para valores abaixo, de 3.500K; correspondem a uma **luz branca quente**, sendo de cor mais amarelada. Exemplo: as famosas lâmpadas incandescentes (Figura 2).

2 – Valores intermediários, entre 3.500K e 5.500K: correspondem a uma **luz branca neutra**, correspondendo mais a luz do dia.

3 – Já para valores a partir de 5.500K: temos a **luz branca fria**, de aparência mais azulada, recomendada para aqueles ambientes que precisam de maior iluminação.



Figura 2 – Lâmpada incandescente. Fonte: <https://www.madeiramadeira.com.br>.



1.3. Experimento Virtual

Link para a simulação:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum

Para realizar a atividade, você precisa clicar sobre o link acima, usando o computador ou celular. Ao abrir a página da simulação, aperte o botão com o sinal de reproduzir (play) e você verá uma tela como a mostrada na Figura 3.

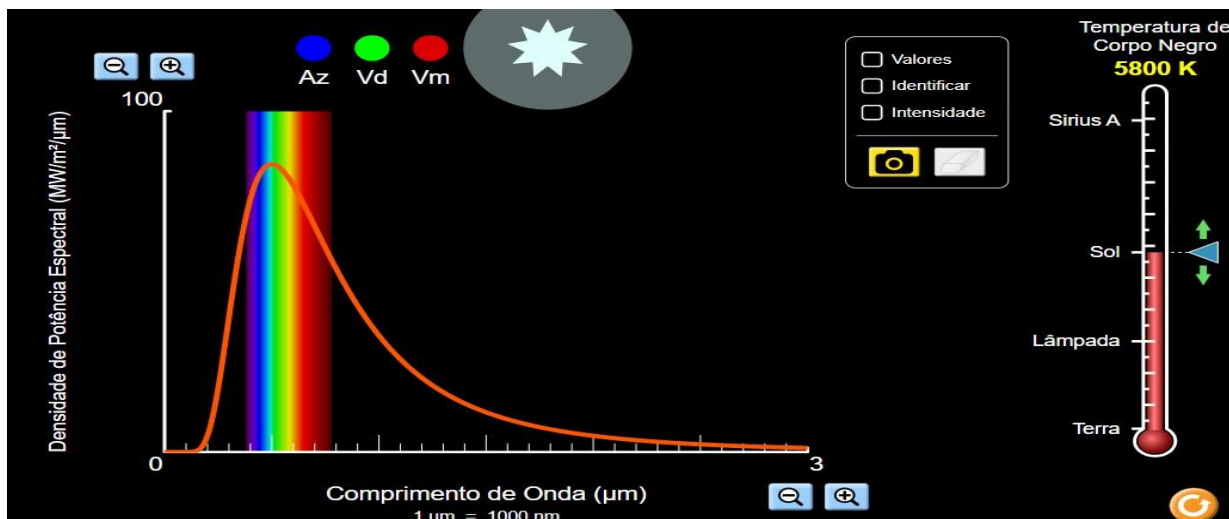
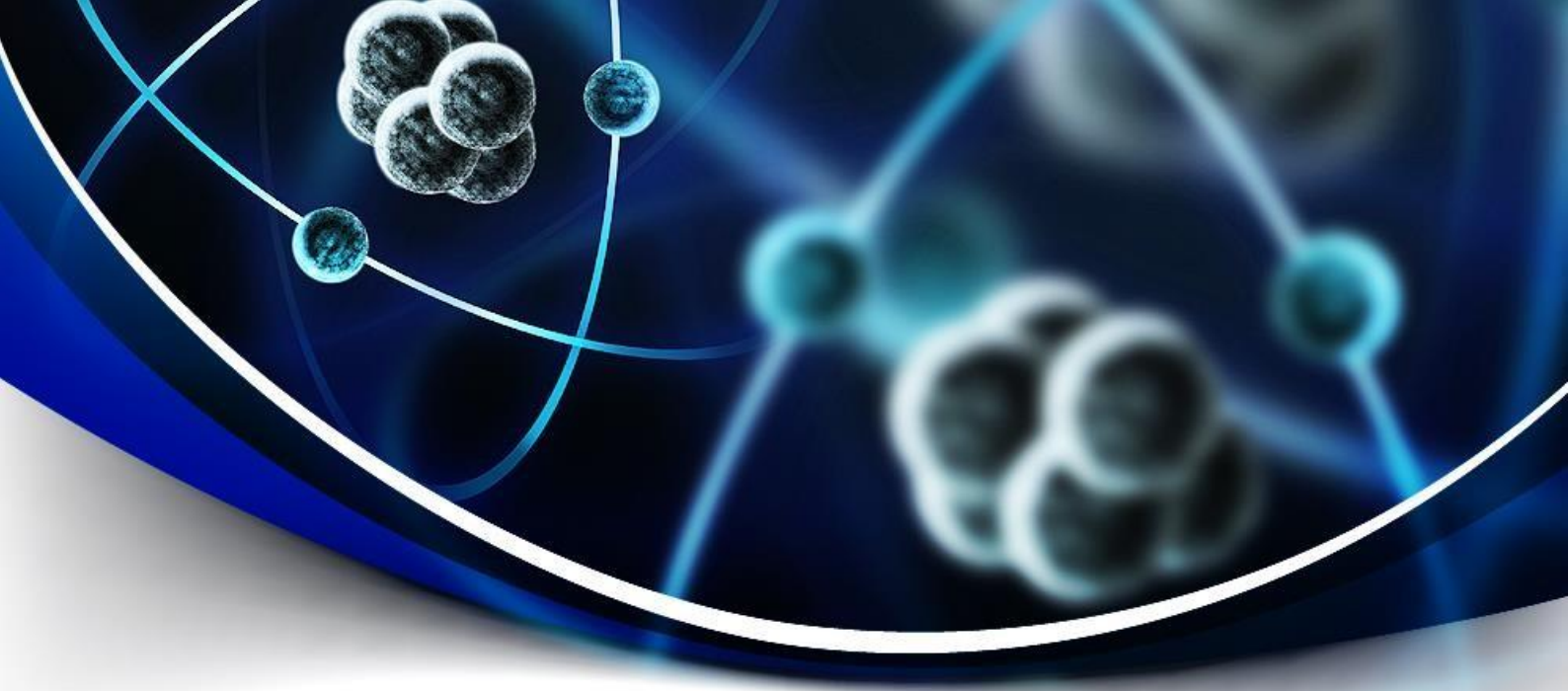


Figura 3 – Simulação “Espectro de Corpo Negro”. Fonte: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum

O simulador apresenta o espectro de emissão para o corpo negro a uma dada temperatura. A figura do termômetro indica a temperatura do planeta Terra, de uma lâmpada incandescente, do Sol e da estrela Sírius A. A Terra emite radiação na faixa do infravermelho, já a lâmpada e as duas estrelas irradiam também na região visível do espectro eletromagnético.

Considerando a temperatura ambiente (em torno de 300 K), corpos negros emitem radiação eletromagnética na região do infravermelho. Com o aumento da temperatura em algumas centenas de Kelvin, os corpos negros passam a emitir radiação em comprimentos de onda visíveis ao olho humano (compreendidos entre 400 a 700 nanômetros).

A simulação possibilita a identificação do espectro de radiação solar, considerando o Sol como corpo negro. Permite também ajustar a temperatura para ver o comprimento de onda de intensidade máxima da radiação apresentada no espectro. É possível também observar a cor do pico de intensidade para cada curva espectral. À medida que a temperatura diminui, o pico de intensidade da curva do espectro de um corpo negro se desloca para menores intensidades e maiores comprimentos de onda.



1.4. Atividades

1. Ao abrir a simulação, selecione as opções “Valores” (para identificar a intensidade máxima e o comprimento de onda correspondente), “Identificar” (para identificar as regiões ultravioleta, visível e infravermelha do espectro) e “Intensidade” (para mostrar a intensidade emitida em todos os comprimentos de onda, que corresponde à área sob a curva, que aparecerá em cinza).
2. Logo que você abrir a simulação o espectro exibido é o espectro de corpo negro do Sol. Para esse espectro do Sol, anote: a) a densidade de potência espectral máxima (valor de pico do espectro) b) o comprimento de onda onde a densidade de potência espectral é máxima $\lambda_{m\acute{a}x}$, c) a temperatura de corpo negro T e d) a intensidade I. e) A que cor corresponde o comprimento de onda $\lambda_{m\acute{a}x}$ onde a densidade de potência espectral é máxima? (Nos casos em que o valor máximo não estiver na região visível do espectro eletromagnético, informe em que região do espectro esse valor está).

3. Repita o procedimento no item B) para a lâmpada e para a estrela Sírius A e preencha as 5 primeiras linhas da tabela abaixo:

	Lâmpada	Sol	Sírius A
T (K)			
I (W/m ²)			
Valor máximo da densidade de potência espectral (W/m ² /μm)			
$\lambda_{\text{máx}}$ (μm)			
Cor (ou região do espectro) onde se localiza $\lambda_{\text{máx}}$			
$T \times \lambda_{\text{máx}} = b$ (μm K)			
$I = \sigma \times T^4$ (W m ⁻² T ⁻⁴)			

4. A partir do que você observa na simulação, responda: a) Quando a temperatura de corpo negro T aumenta, o que acontece com $\lambda_{\text{máx}}$, aumenta ou diminui? b) Quando você altera a temperatura, por exemplo aumentando, se você mexer no “zoom” das escalas dos eixos, você consegue deixar a curva num formato parecido com o que ela tinha a uma temperatura mais baixa, antes do aumento? Comente.

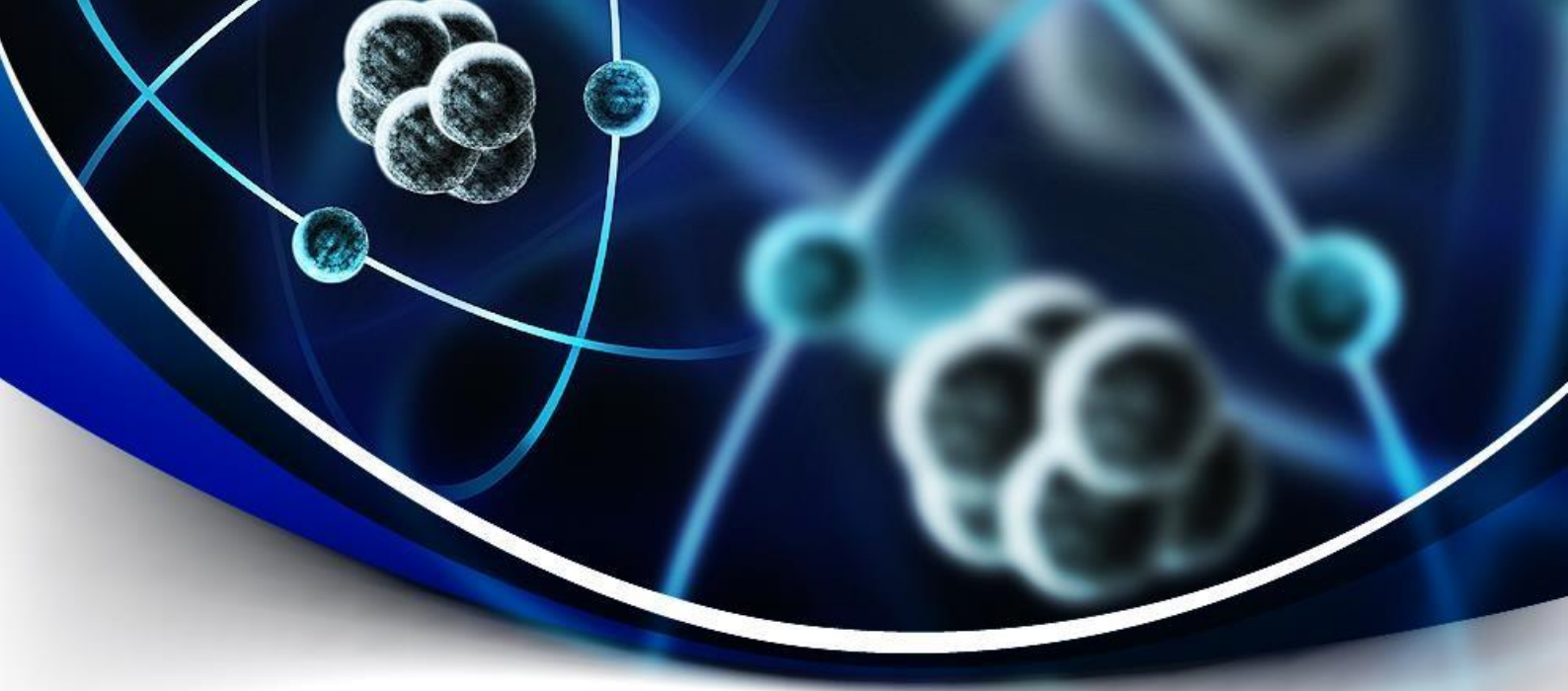
Resposta:

5. A lei de Wien, apresentada primeiramente por Wilhelm Wien em 1893, estabelece que para os espectros de corpos negros o produto da temperatura de corpo negro T pelo comprimento de onda onde a densidade de potência espectral é máxima $\lambda_{m\acute{a}x}$, é constante. Para o produto de dois números ser constante quando um aumenta o outro precisa diminuir, ou seja, quando a temperatura aumenta esse comprimento de onda diminui, e vice-versa. a) Isso está de acordo com o que você observou no item 4? b) Use os valores de T e $\lambda_{m\acute{a}x}$ que você colocou na tabela e calcule o produto dessas duas quantidades para os três espectros de corpo negro. Preencha com esses valores a sexta linha da tabela. c) Para os três diferentes corpos negros, os são valores parecidos?

Resposta:

6. A lei de Stefan-Boltzmann estabelece que para o corpo negro a intensidade I emitida é proporcional à quarta potência da temperatura de corpo negro T , e a constante de proporcionalidade é chamada de constante de Stefan-Boltzmann σ (talvez você se lembre dela de quando estudou transferência de calor por radiação, mas repare que para o corpo negro a emissividade é sempre 1). a) Use os valores de intensidade e temperatura de corpo negro dos três corpos negros para calcular a constante de Stefan-Boltzmann e escreva na tabela os resultados. b) Os três valores são parecidos?

Resposta:



2. O Experimento de Rutherford

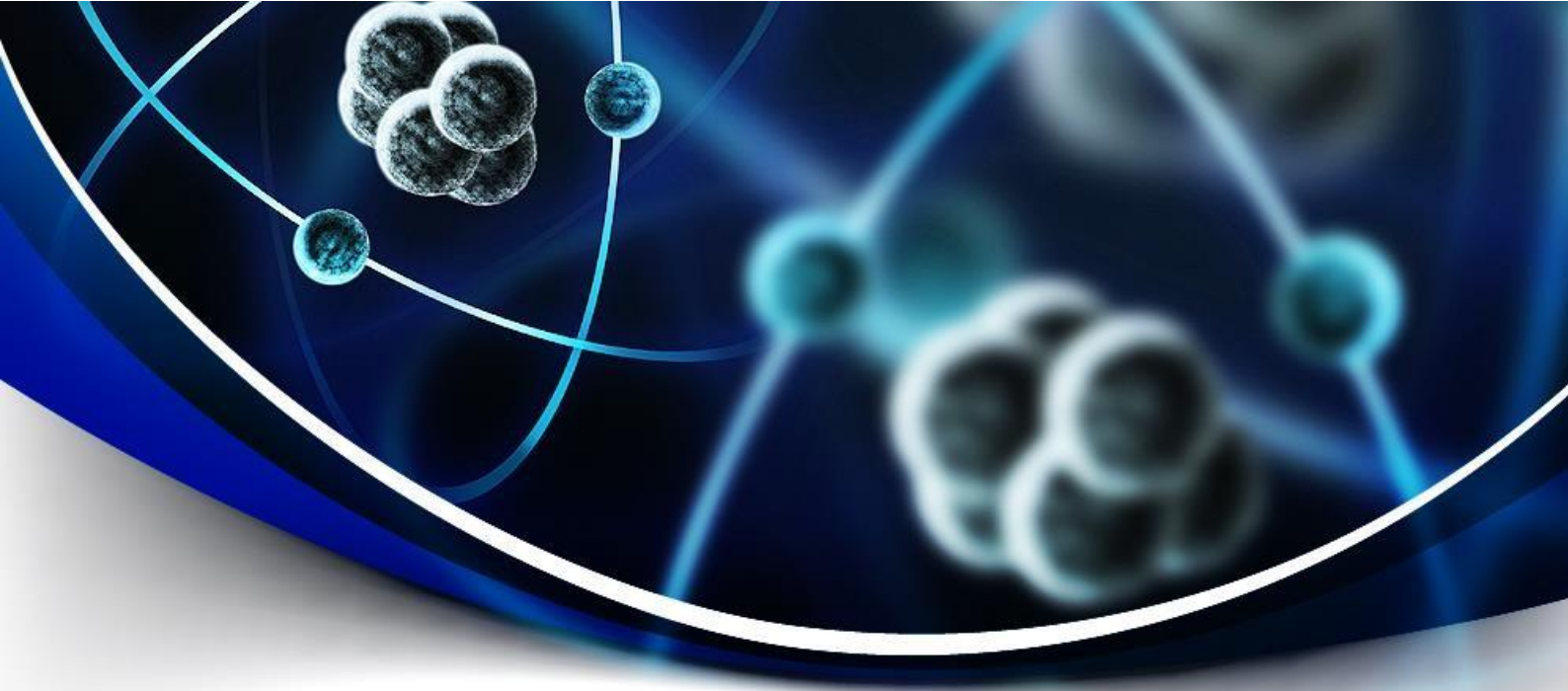
Orientações ao Professor

Duração da aula: 50 minutos, uma (1) aula.

Conhecimentos prévios trabalhados pelo professor com o aluno: Os alunos devem ter estudado os modelos atômicos de Dalton e Thomson.

Estratégias e recursos da aula: Aula interativa, aula conceitual.

Como não se encontra muitos experimentos para este tema que possam ser trabalhados, sugerimos ao professor a utilização de simulações, vídeos e fatos históricos que aconteceram antes do modelo de Rutherford.



2.1. O Experimento de Rutherford: Roteiro para Experimentação Virtual

Objetivos:

- Compreender o que são modelos teóricos.
- Compreender o desenvolvimento histórico da ciência envolvido na construção do modelo atômico de Thomson e Rutherford.
- Compreender os resultados do experimento de Rutherford e entender as limitações apresentadas por esses modelos.

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford (1871-1937) realizou um experimento com o objetivo de comprovar o modelo atômico adotado à época, que era o de Thomson, no qual o átomo seria uma esfera de carga elétrica positiva, não maciça, incrustada de elétrons (de carga negativa), com sua carga elétrica total nula. Foi o então conhecido experimento da finíssima folha de ouro.

Ao colimar um feixe de partículas alfa e direcioná-lo para a folha de ouro, Rutherford observou que **a maioria das partículas alfa atravessava a lâmina sem desviar. Outras partículas alfa**

desviavam-se, e muito poucas retrocediam. Baseando-se nestes dados, Rutherford concluiu que ao contrário do que Dalton pensava o átomo não poderia ser maciço.

Na verdade, **grande parte do átomo seria vazio e continha um núcleo muito pequeno, positivo e extremamente denso.**

Com isso, surgiu a pergunta: como o átomo poderia permanecer estável se carga de sinais iguais se repelem, se no núcleo só haviam partículas positivas, os prótons?

A resposta para esta questão só foi possível com a descoberta do nêutron em 1932, **(uma partícula com carga elétrica nula que fica no núcleo do átomo), e posteriormente com a descoberta das forças nucleares.**

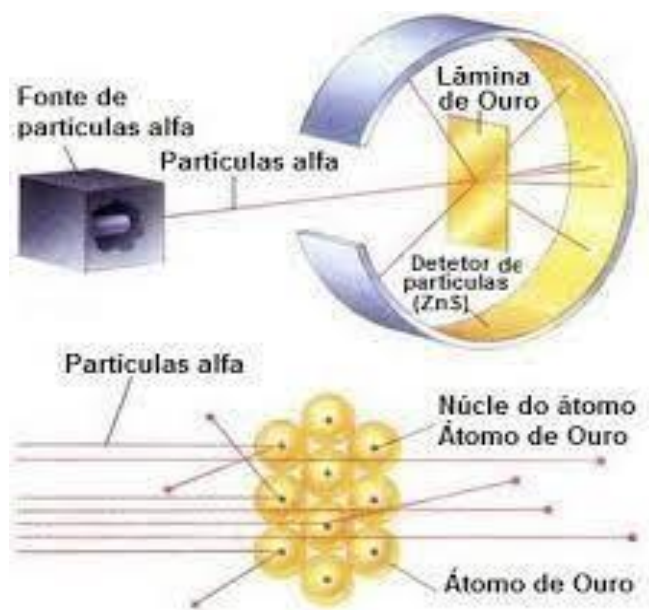
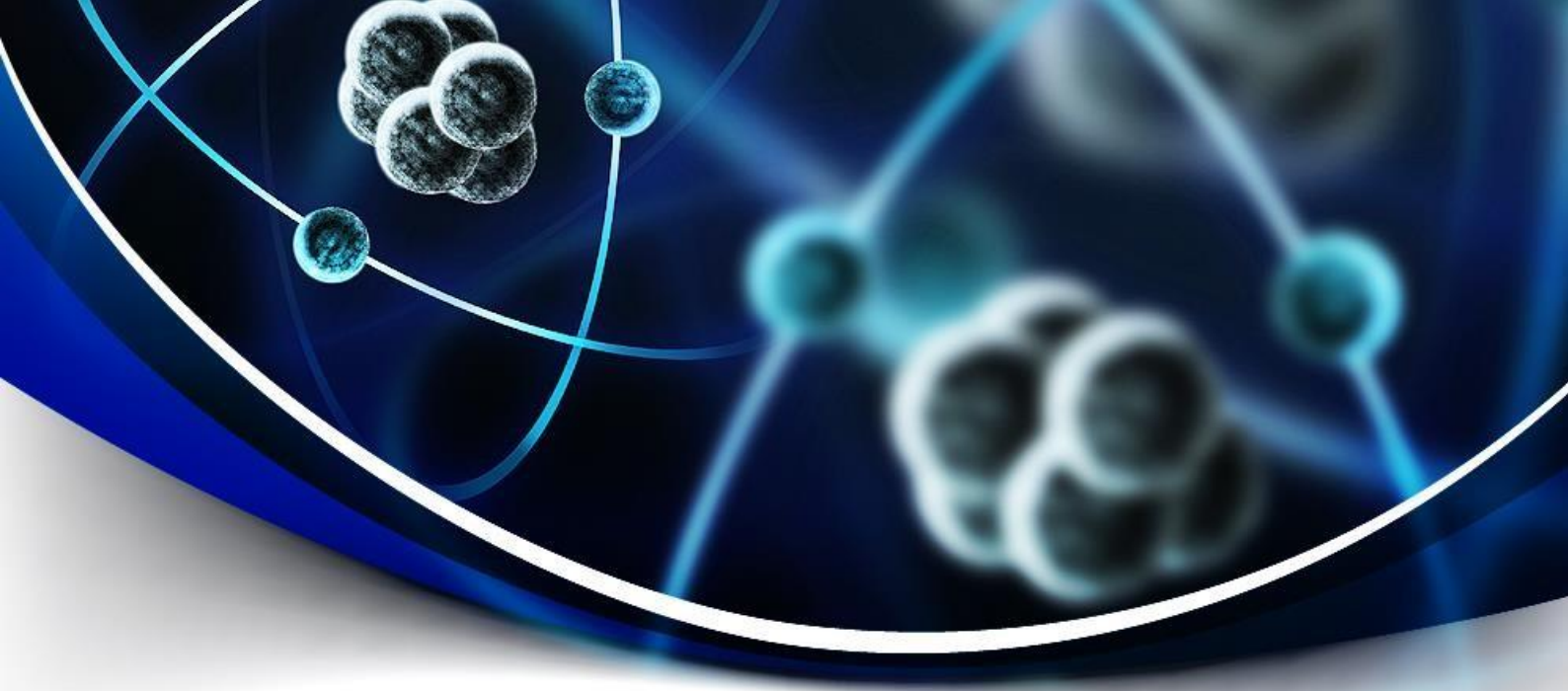


Figura 4 – Representação simplificada do arranjo experimental de Rutherford em 1911. A figura contém a fonte e partículas alfa, uma folha de ouro, o detector de partículas e um arranjo das trajetórias das partículas. Fonte - <https://www.uff.br>.



2.2. Fundamentação Teórica

O período que vai do séc. XIV ao séc. XVI, período que compreende o Renascimento científico, foi marcado pela retomada da ideia do átomo por Pierre Gassendi (1592-1655) e pelo desenvolvimento da ciência moderna. Esses dois fatos foram essenciais para que em 1808, John Dalton (1766 -1844), formulasse a teoria atômica que leva seu nome. "Dalton baseou sua teoria na lei da conservação das massas e na lei das proporções constantes. A primeira parte de sua teoria afirma que toda a matéria é composta por átomos, que são indivisíveis. A segunda parte da sua teoria diz que todos os átomos de um determinado elemento possuem massa e propriedades idênticas."

A compreensão do mundo atômico fez parte de um esforço de vários cientistas, dentre eles, o físico inglês Joseph John Thomson (1856 – 1940). Como resultados dos trabalhos em laboratório, Thomson propôs um modelo atômico diferente do modelo de Dalton logo após a sua descoberta, de "que todos os átomos contêm partículas subatômicas minúsculas de carga negativa, os elétrons". Esses cientistas realizaram vários experimentos entre o fim do séc. XIX e início do séc. XX. Os resultados desses experimentos mostraram que a teoria clássica já não dava mais

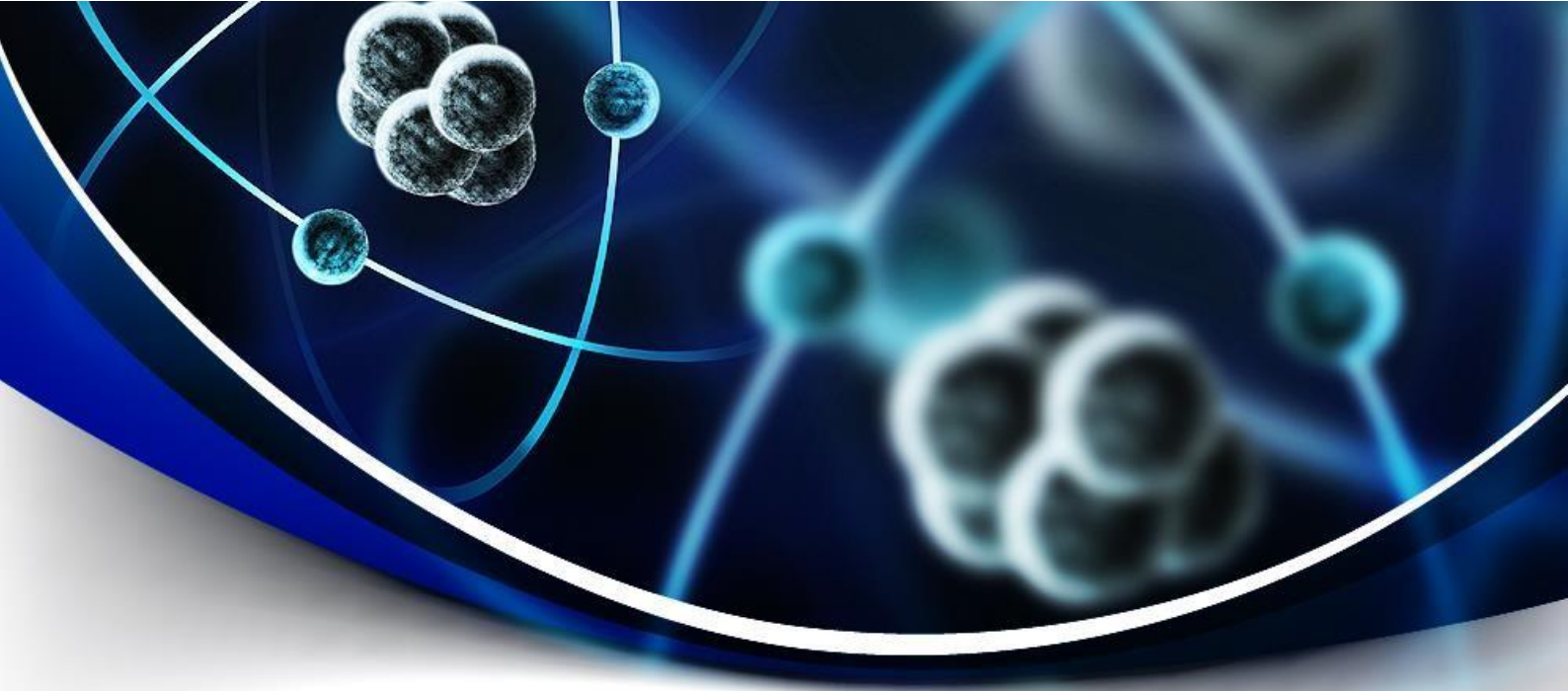
conta de explicar vários fenômenos, em muitos casos os resultados experimentais não confirmavam a teoria.

Ernest Rutherford (1871 – 1937), que conhecia o trabalho de Thomson, não só explicou alguns problemas da época, mas também, chegou a propor um modelo atômico para explicar esses os resultados.

Em 1911, Rutherford e os cientistas Hans Geiser (1881 – 1945) e Ernest Marsden (1889 – 1970) realizaram um experimento sobre o espalhamento de partículas bombardeando com um feixe de partículas alfa um alvo fixo, uma finíssima folha de ouro. Esperava-se pelo experimento de Thomson que as partículas alfa que possuem cargas positivas sofressem pequenos desvios em sua trajetória, mas não foi bem isso que aconteceu. O que foi detectado para algumas partículas que deveriam atravessar a folha de ouro com facilidade foi que sofreram grande desvios em suas trajetórias.

Observando que o modelo de Thomson não conseguia explicar os desvios observados, Rutherford propôs um outro modelo atômico, no qual afirmava que a maior parte da massa do átomo estava numa diminuta região central chamada núcleo. Esse núcleo era positivo já que repelia parte das partículas alfa.

No modelo proposto por Rutherford as partículas de carga negativa (os elétrons) orbitavam ao redor do núcleo num movimento contínuo de modo a não haver choque entre elas e grande parte do átomo era vazia, sem matéria.



2.3. Experimento Virtual

Link para a simulação:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/rutherford-scattering

Para realizar a atividade, você precisa clicar sobre o link acima, usando o computador ou celular. Ao abrir a página da simulação, você verá uma tela como a mostrada na Figura 6.

A partícula alfa é uma partícula composta por dois prótons e dois nêutrons, tendo a mesma estrutura do núcleo do átomo de hélio. No modelo de Thomson, esta partícula não interage com a matéria como pode ser observado na simulação.

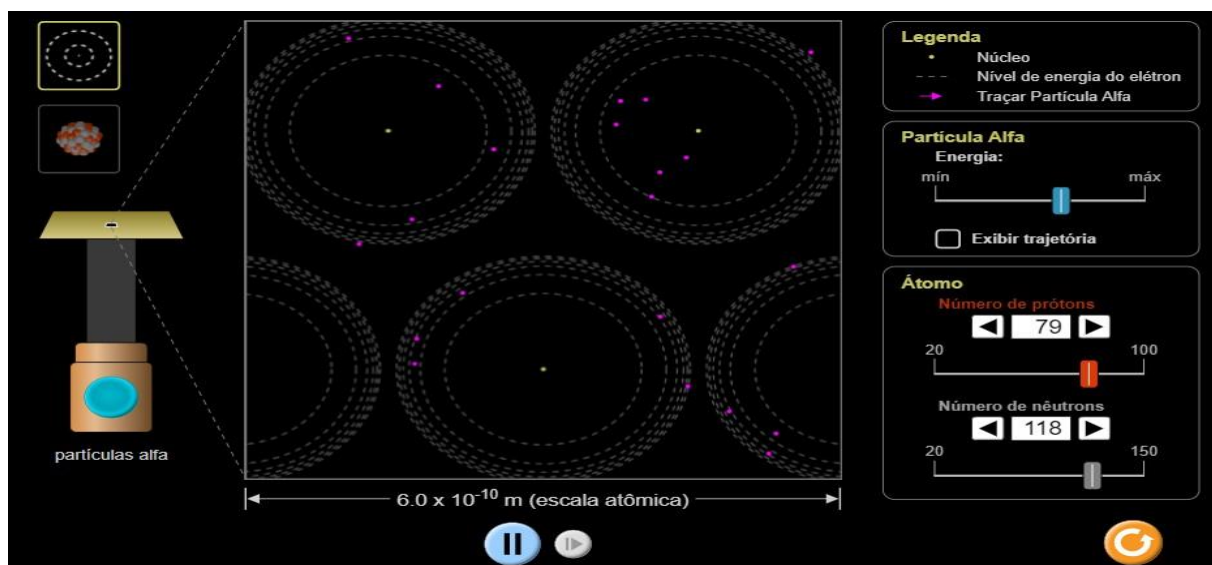


Figura 5 – A tela inicial da simulação exibe esta imagem mostrando o átomo, o núcleo e algumas partículas alfa ao centro, a legenda a esquerda da imagem e a fonte de partículas alfa a esquerda, acessíveis pelos botões na parte de baixo da tela: hélio, lítio, sódio, mercúrio e neônio. Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.htm.

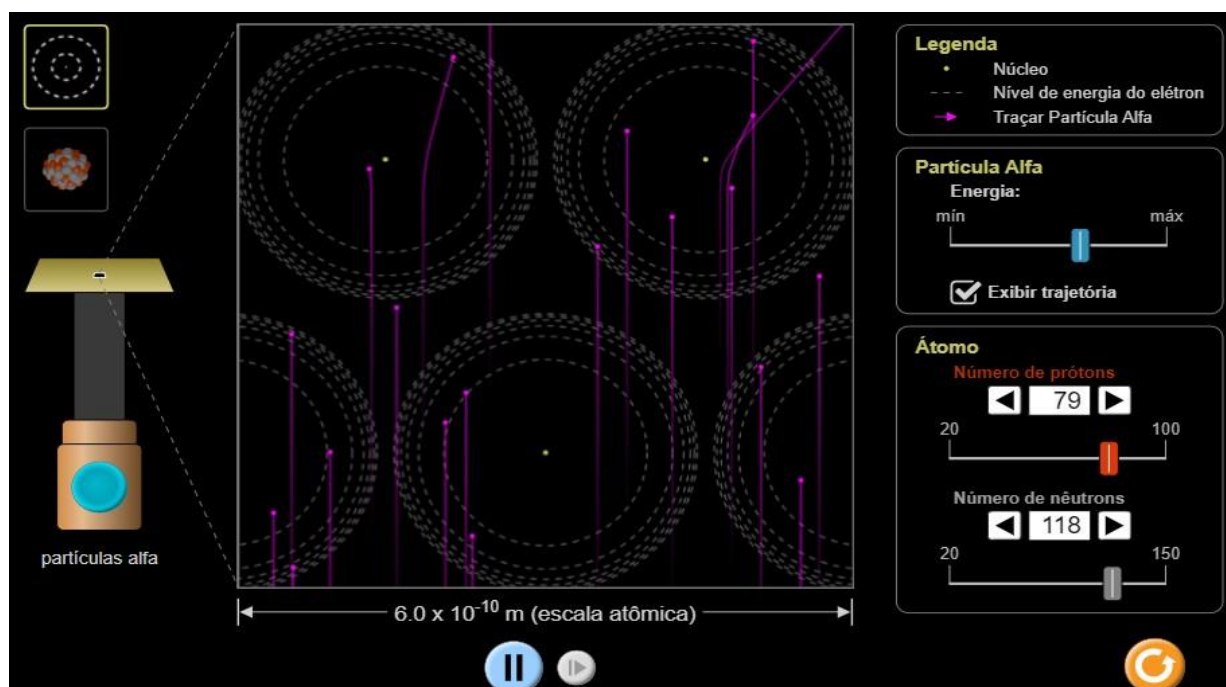


Figura 6 – A tela inicial da simulação também exibe esta imagem mostrando a trajetória de algumas partículas alfa, o núcleo, a legenda a esquerda da imagem e a fonte de partículas alfa a esquerda. Fonte:

https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.htm.

A dispersão ou espalhamento de Rutherford como ficou conhecido é um fenômeno que foi explicado por Ernest Rutherford em 1909, e levou ao desenvolvimento da teoria orbital do átomo.

Da Figura 5 acima temos: Uma fonte de partículas alfa, a representação de um átomo em escala atômica e uma partícula alfa à esquerda, a legenda e a energia da partícula e o detalhe de um átomo com 79 prótons e 118 nêutrons à direita e na horizontal a escala atômica ($6,0 \times 10^{-10}$ m). Podemos observar as trajetórias das partículas e seu nível de energia, assim como os desvios sofridos por algumas delas. Observe na Figura 3.3 os traços indicando as trajetórias das partículas alfa individuais quando a opção "Exibir trajetória" é selecionada.

Na Figura 7 abaixo, temos as mesmas configurações da imagem anterior, mas agora na escala nuclear ($1,5 \times 10^{-13}$ m). Da figura podemos ver que todas as partículas são repelidas ao se aproximarem do núcleo.

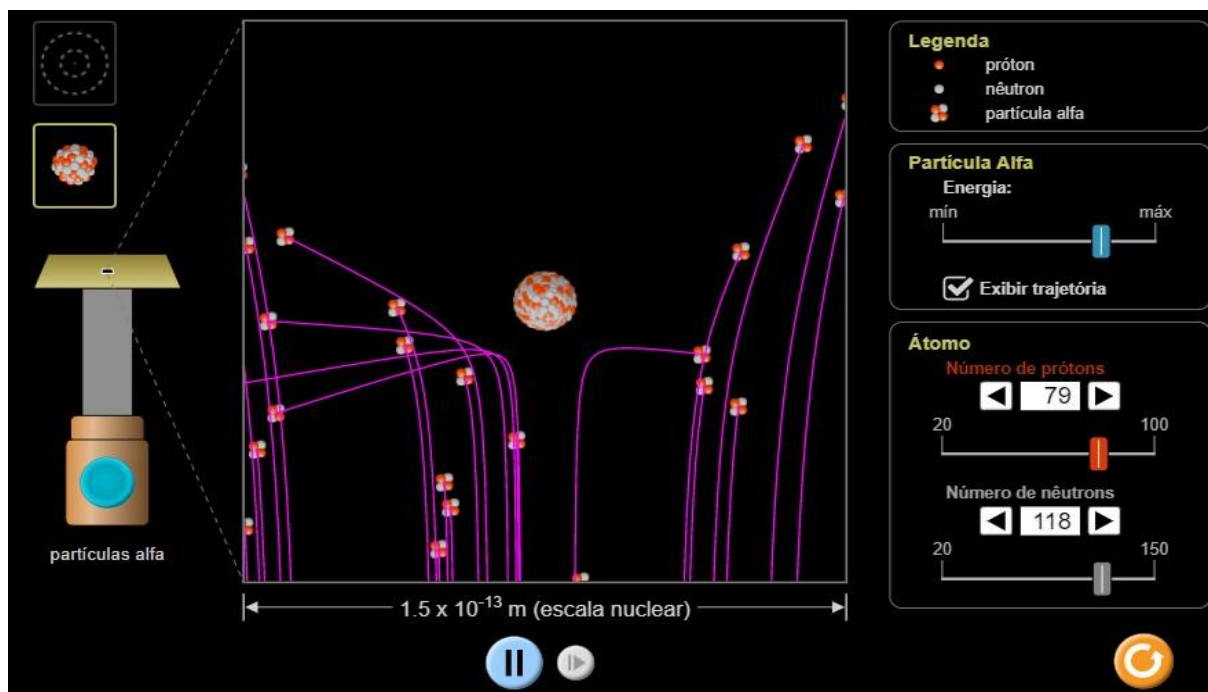
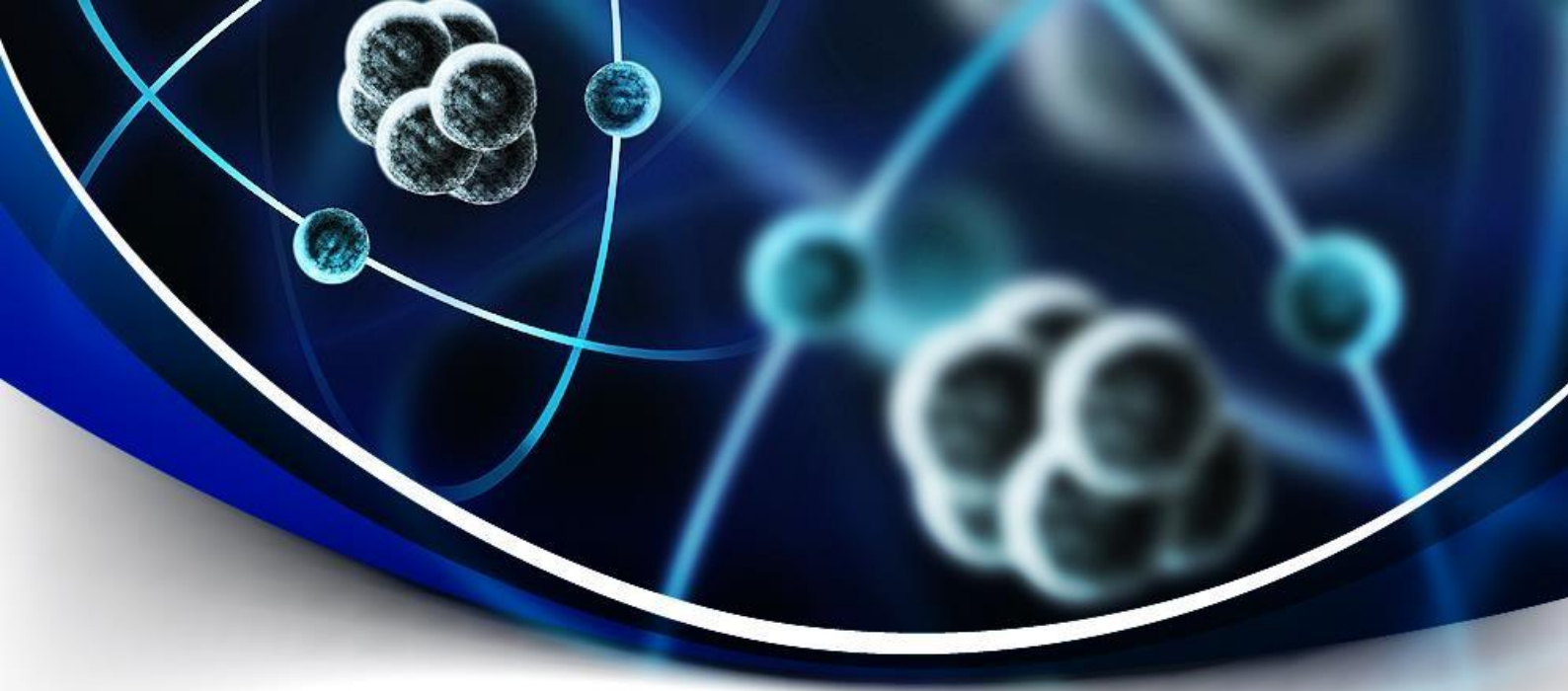


Figura 7 – Tela da simulação exibindo a escala nuclear. Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_pt_BR.htm.



2.4. Atividades

1. Acesse a simulação com o link fornecido. Ligue a fonte de partículas alfa e selecione a opção “Exibir trajetória”. Faça observações com as duas escalas disponíveis, variando a energia das partículas alfa e deixando os outros parâmetros constantes. Descreva em algumas linhas como a energia das partículas alfa afeta o espalhamento. Como essa energia afeta a distância que a partícula alfa chega do núcleo? Como essa energia afeta o ângulo de espalhamento?

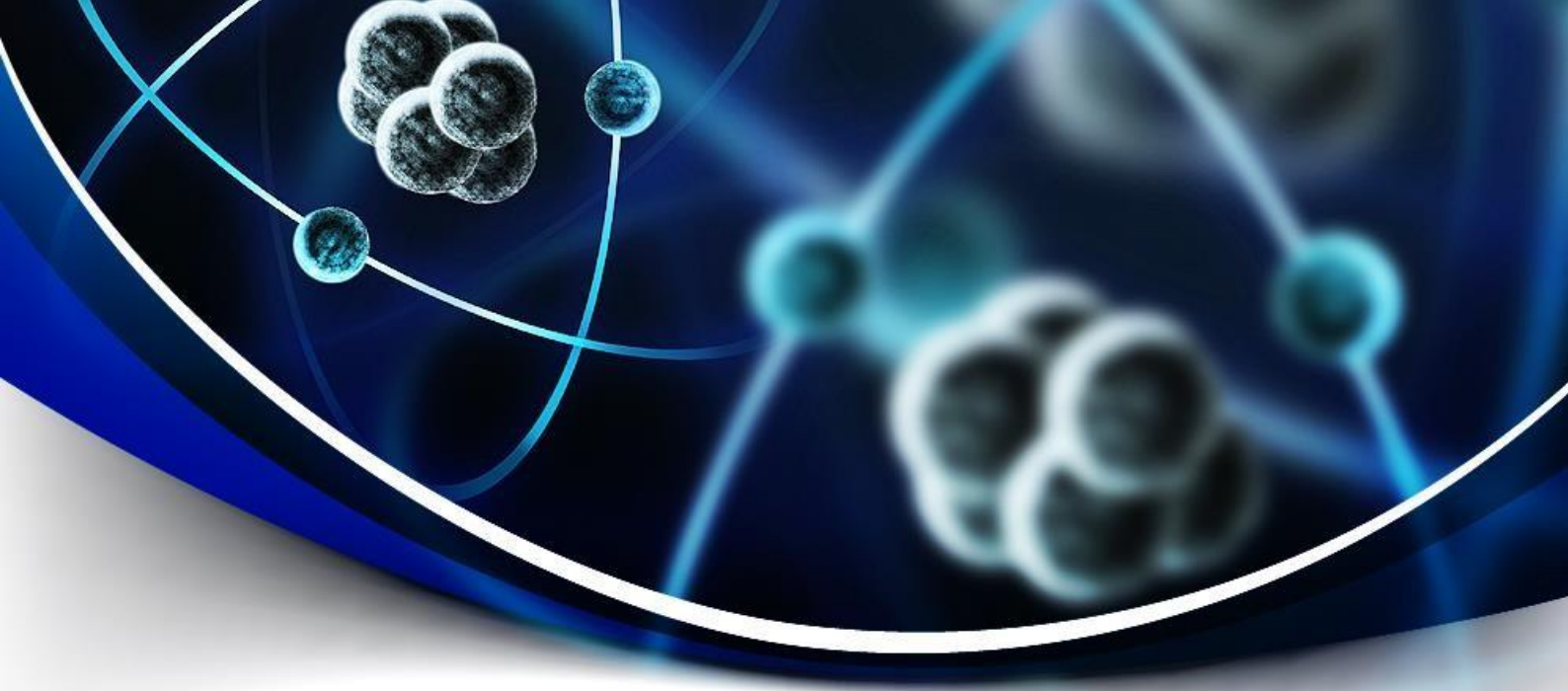
Resposta:

2. Agora varie o número de prótons e deixe os outros parâmetros constantes. Observe o que acontece usando as duas escalas disponíveis. a) Como o número de prótons afeta o espaçamento? b) Como você poderia explicar esse comportamento com base no que você sabe sobre cargas elétricas?

Resposta:

3. Agora varie o número de nêutrons e deixe os outros parâmetros constantes. Observe o que acontece usando as duas escalas disponíveis. a) Como o número de nêutrons afeta o espaçamento? b) Como você poderia explicar esse comportamento com base no que você sabe sobre cargas elétricas?

Resposta:



3. Moléculas e Luz

Orientações ao Professor

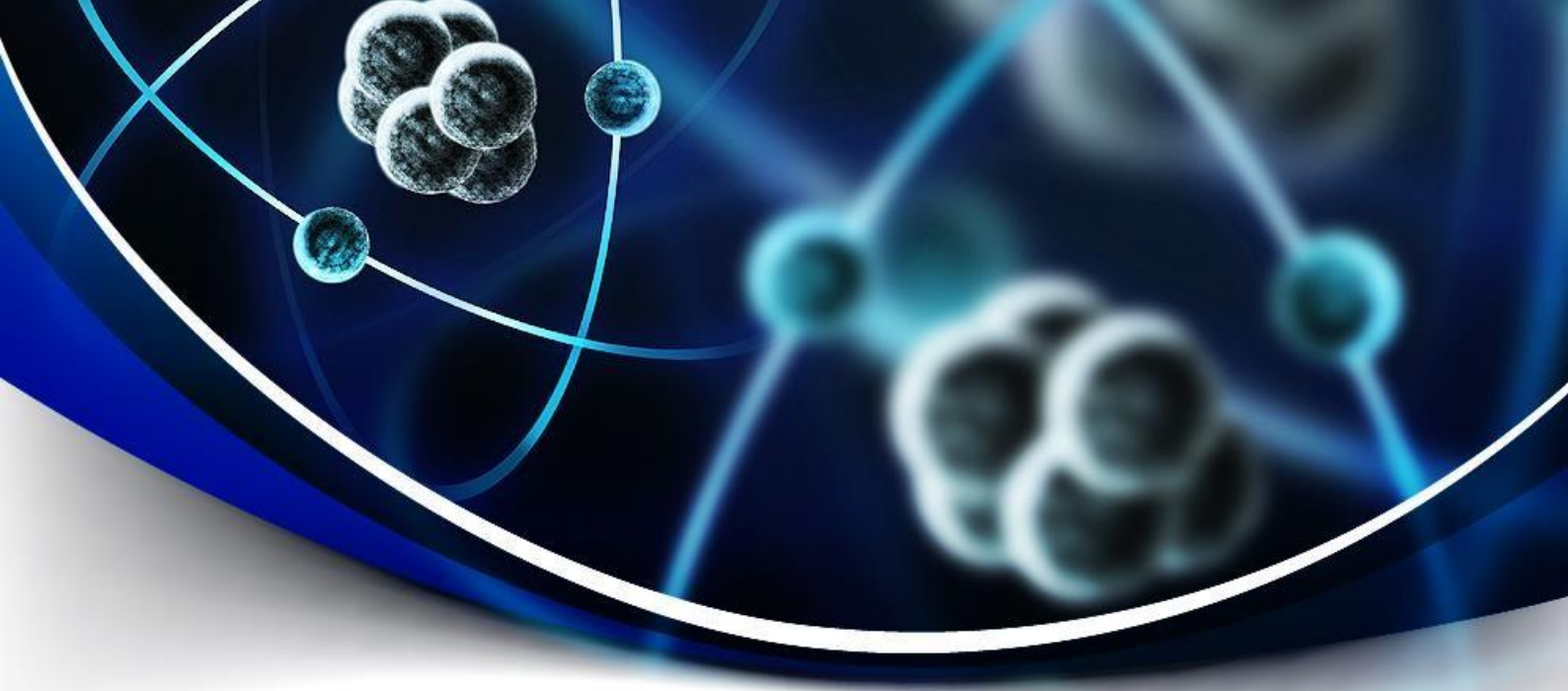
Duração da aula: 50 minutos, uma (1) aula.

Conhecimentos prévios trabalhados pelo professor com o aluno: Os alunos devem reflexão de onda, propagação e trocas de calor.

Estratégias e recursos da aula: Aula interativa, aula conceitual.

O professor pode pedir que os alunos comentem porque as atividades humanas são tão prejudiciais à Camada de Ozônio? E se quiser, pode perguntar sobre aparelhos utilizados em hospitais e empresas que funcionam utilizando a Física Quântica.

Esta simulação tem como objetivo mostrar como a luz interage com as moléculas na atmosfera. O espectro de luz ao que se refere o experimento trata-se do já conhecido espectro eletromagnético. Assim, quando nos referimos a qualquer uma das radiações, estamos nos referindo àquela determinada luz.



3.1. Moléculas e Luz: Roteiro para Experimentação Virtual

Objetivos:

- Identificar interações entre moléculas de gases presentes na atmosfera e a radiação incidente do Sol e emitida pela superfície da Terra.
- Identificar que essas interações dependem do tipo de molécula e do comprimento de onda da radiação.
- Associar essas interações a fenômenos importantes, como o efeito estufa e a proteção da camada de ozônio contra a radiação ultravioleta.
- Compreender o aquecimento dielétrico e como um forno de micro-ondas aquece os alimentos.

As interações entre moléculas e luz são importantes para muitos fenômenos e muitas tecnologias. Nesse roteiro vamos tratar de dois fenômenos muito importantes para a vida na Terra e de uma tecnologia bastante usada no dia-a-dia, respectivamente: a proteção da camada de ozônio contra a radiação ultravioleta, o efeito estufa, e o forno de micro-ondas.

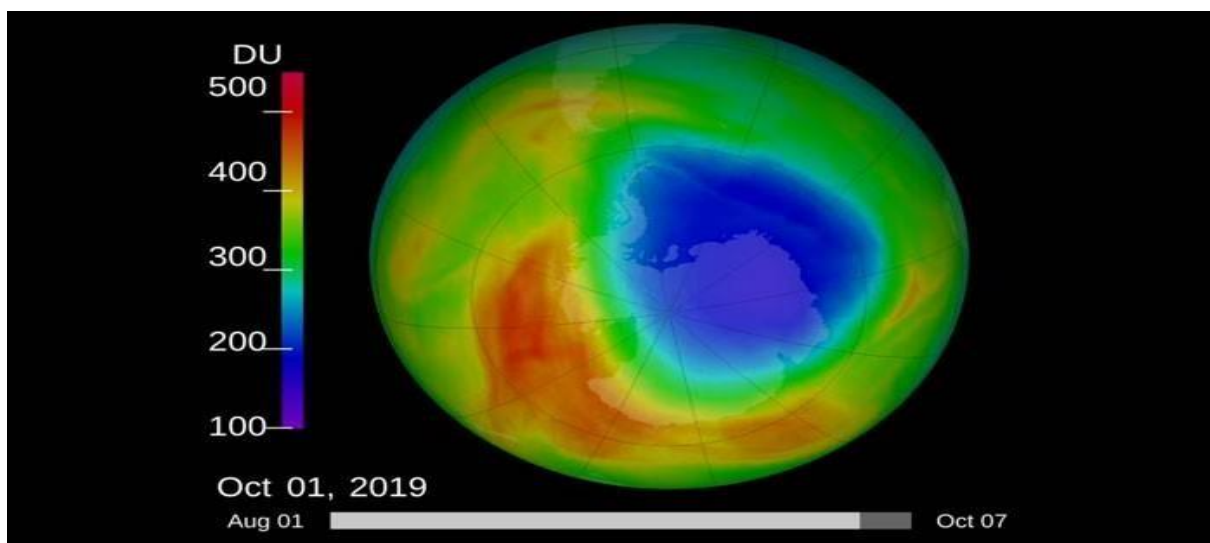
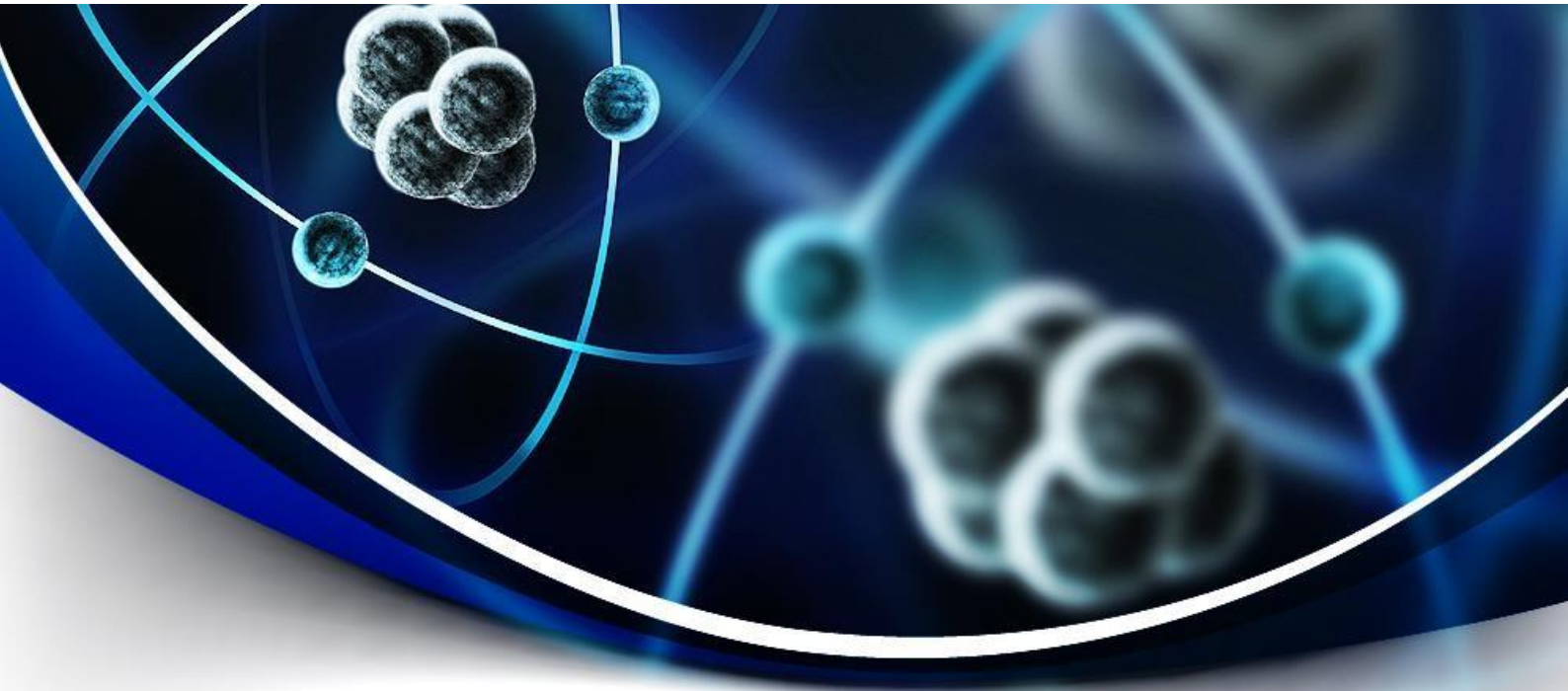


Figura 8 – Buraco na camada de ozônio em 1º de outubro de 2019 – cortesia (Fonte: Foto: NASA/Reprodução YouTube).



3.2. Fundamentação Teórica

As moléculas podem interagir com a radiação de maneiras diferentes de um átomo isolado. O movimento relativo dos átomos de uma molécula uns em relação aos outros dão origem a níveis de energia vibracionais e a rotação da molécula em torno de um certo eixo pode dar origem a níveis de energia rotacionais. Esses níveis de energia, que também são quantizados, podem ser excitados quando a molécula absorve a energia necessária. Em geral, radiação na região das micro-ondas pode fazer moléculas girarem (ver o caso do forno micro-ondas, explicado abaixo) e a radiação no infravermelho pode excitar níveis vibracionais. Também, a energia absorvida de um fóton de maior energia pode quebrar uma ligação química da molécula e separar os átomos que formam a molécula, um processo chamado de **fotólise**. Essas interações sempre dependem da frequência da radiação e do tipo de molécula.

A. A Camada de Ozônio

A camada de ozônio está situada na estratosfera, que fica entre 11 e 40 quilômetros de altura, concentrando 90% do ozônio na atmosfera

terrestre. Nessa altitude, o ozônio funciona como uma barreira protetora, como um protetor solar para o planeta Terra, barrando cerca de 95% da radiação ultravioleta incidente. Sem a camada de ozônio a maior parte da radiação ultravioleta atingiria a superfície, causando sérios danos a praticamente todas as formas de vida.

Durante a década de 1970 descobriu-se que o ozônio da estratosfera estava diminuindo devido a liberação na atmosfera de certos compostos químicos usados em refrigeração, como propulsores de aerossóis e como agentes de expansão de espumas, os mais importantes deles sendo os clorofluorcarbonos (CFCs) e hidroclorofluorcarbonos (HCFCs). A Figura 8 acima mostra o buraco na camada de ozônio sobre a Antártida, medido em 2019. Em 1987 o Protocolo de Montreal foi proposto e depois assinado e ratificado por todos os estados membros das Nações Unidas, para o banimento do uso desses compostos. Estima-se que os níveis de ozônio voltem aos que eram nos anos 1980 entre as décadas de 2050 e 2070.

B. O Efeito Estufa

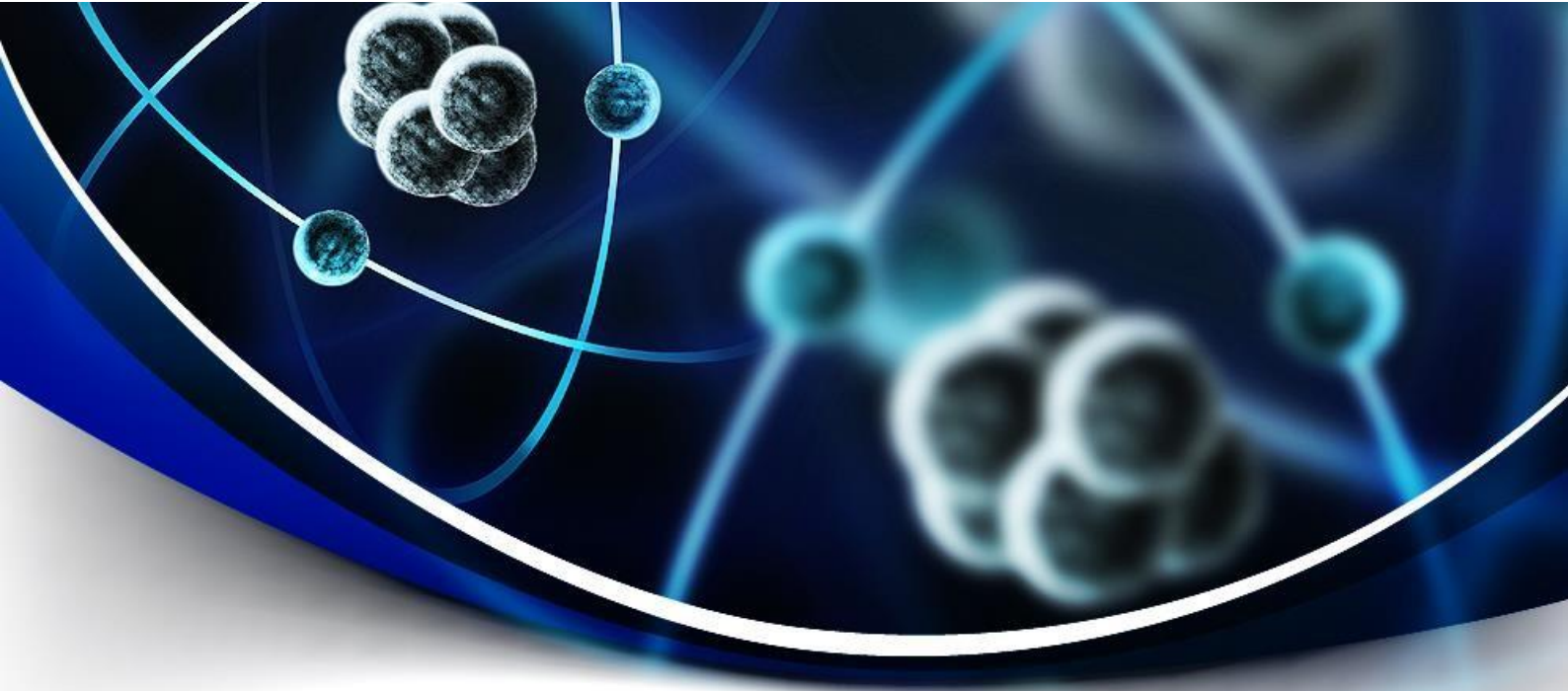
O efeito estufa ocorre quando radiação no visível e no infravermelho próximo passa pela atmosfera, aquece a superfície do planeta e a radiação no infravermelho (de maior comprimento de onda) que é emitida pela superfície fica retida na atmosfera pela presença dos chamados gases de efeito estufa. As moléculas desses gases absorvem e reemitem esses fótons no infravermelho em direções aleatórias que acabam sendo absorvidos e reemitidos por moléculas vizinhas e acabam eventualmente sendo direcionados de volta para a superfície, que aquece e emite mais fótons de volta para atmosfera. Sem o efeito estufa causado pela presença natural desses gases, a superfície da Terra seria mais de 30° C mais fria. Quando atividades humanas liberam gases de efeito estufa e a concentração desses gases na atmosfera aumenta, a quantidade de calor

capturado pela atmosfera é maior e as temperaturas médias no planeta aumentam, o que se convencionou chamar de **aquecimento global**.

Há décadas a comunidade internacional tenta entrar em consenso sobre a necessidade de medidas para limitar os efeitos do aquecimento global no clima da Terra. Nesse sentido, o Acordo de Paris, firmado em 2015 e assinado por 194 países desde 2016, foi um grande avanço. O Acordo de Paris tem como principal objetivo limitar a menos de 2,0 °C o aumento da temperatura média global em relação a níveis pré-industriais, e preferencialmente limitar esse aumento a até 1,5 °C.

C. O forno de micro-ondas

Num forno de micro-ondas (que tem esse nome por usar radiação na faixa de micro-ondas do espectro eletromagnético), moléculas polares, em especial as de água, giram quando as oscilações dos campos elétrico e magnético que formam a onda eletromagnética forçam essas moléculas a se alinharem com esses campos. Esses campos oscilam rapidamente, mudando de intensidade e de sentido, forçando essas moléculas a girar. Esses movimentos de rotação dessas moléculas, e as colisões com as moléculas vizinhas que acontecem enquanto giram, dissipam energia térmica aquecendo a comida. Esse processo é chamado de aquecimento dielétrico.



3.3. Experimento Virtual

Link para a simulação:

https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html

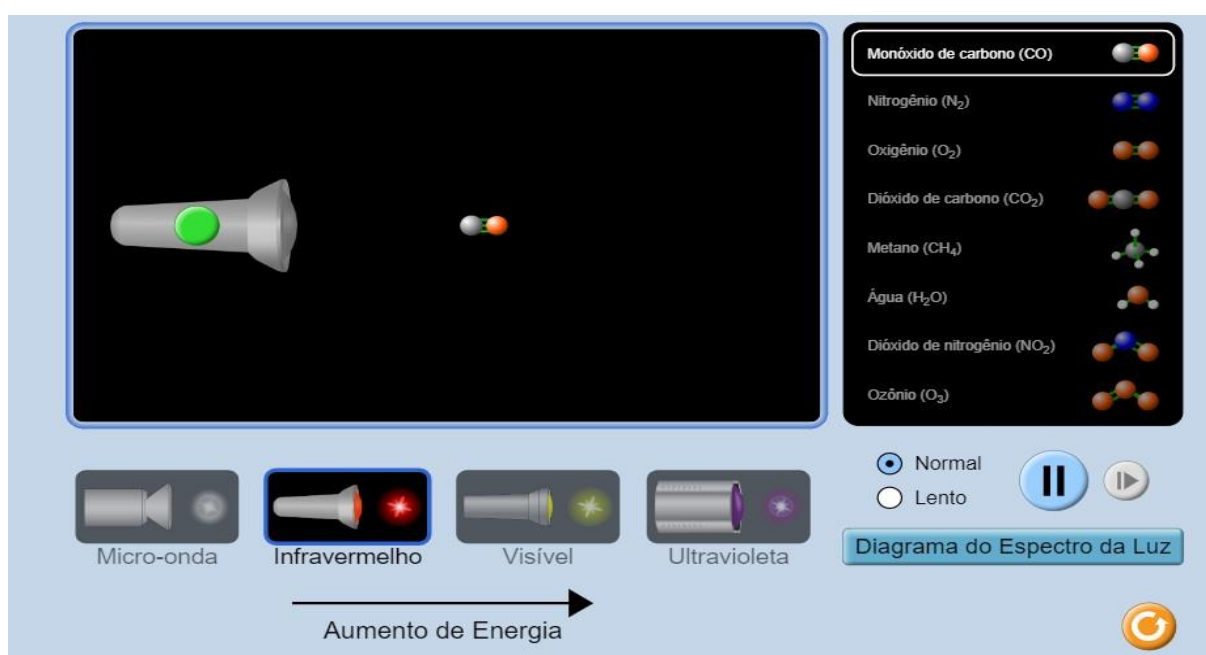


Figura 9 – Fonte: <https://phet.colorado.edu> > pt_BR > molecules-and-light-espectro de luz.

Na Figura 9 acima podemos observar a tela principal da simulação. À direita estão as moléculas, e abaixo os tipos de radiação, que podem ser selecionados na simulação. Da esquerda para a direita a energia dos fótons aumenta. A energia é menor para as micro-ondas e maior para a radiação ultravioleta. Na figura 10 pode-se ver o diagrama do espectro eletromagnético, que aparece quando se clica com o botão esquerdo do mouse em “Diagrama do Espectro da Luz”. Todas as regiões do espectro são mostradas nesse diagrama.

Para iniciarmos a simulação, apertamos no botão verde da fonte de Luz como mostrado na figura.

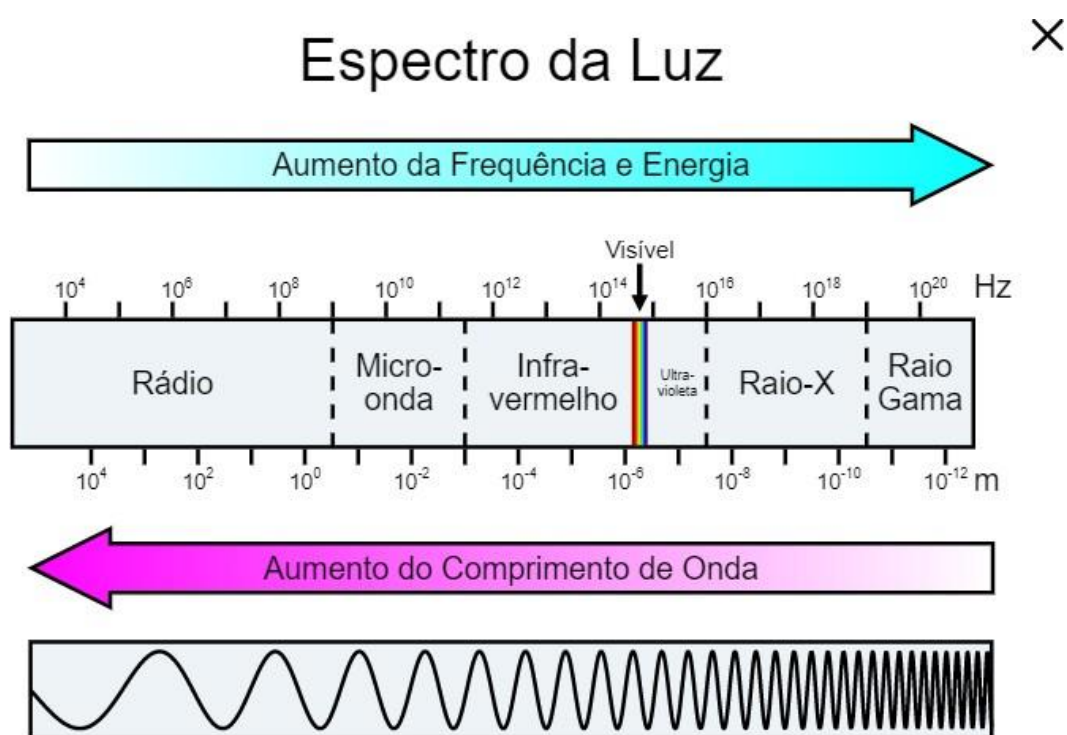
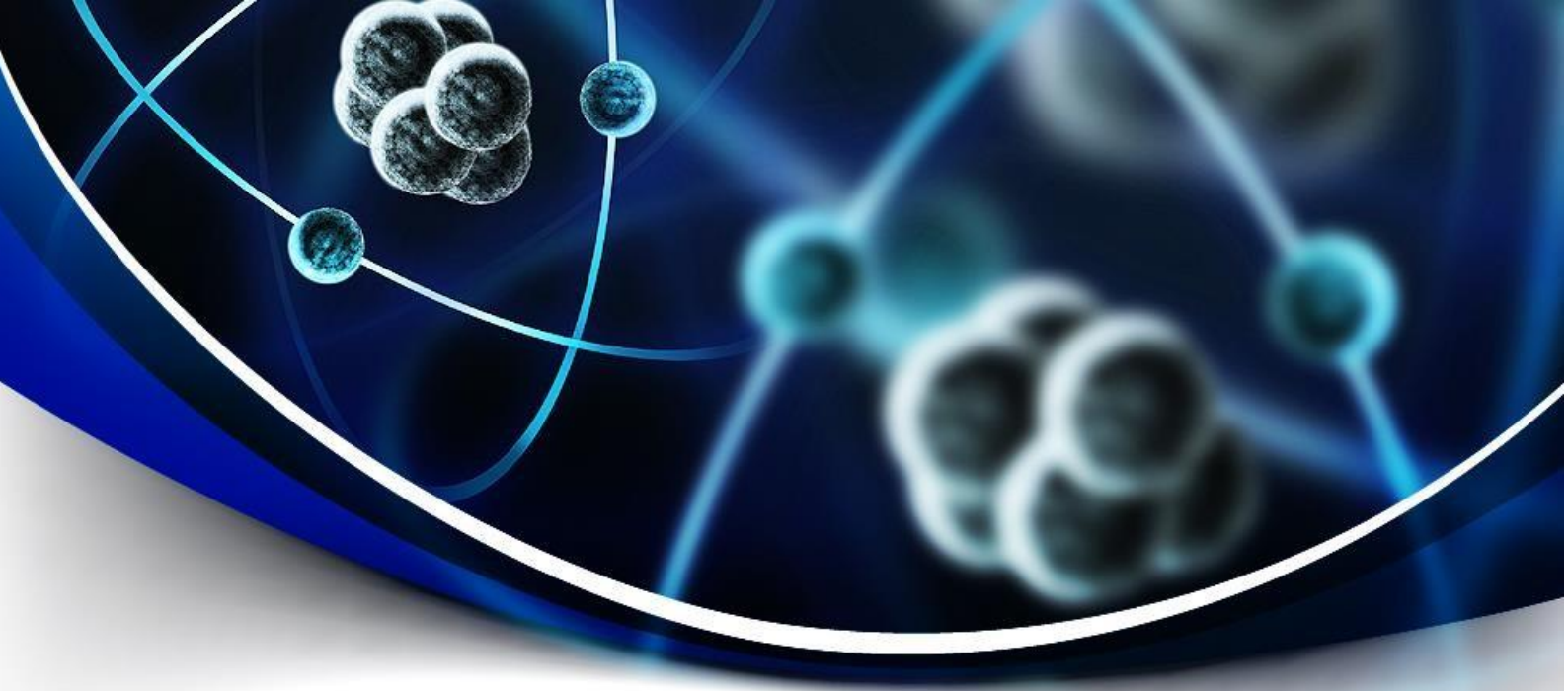


Figura 10 – Fonte: <https://phet.colorado.edu> > pt_BR > molecules-and-light



3.4. Atividades

1. Observe como os diferentes tipos de fótons afetam cada molécula. Descreva a interação com algumas poucas palavras, se houver alguma.

	Micro-ondas	Infravermelho	Visível	Ultravioleta
CO				
N ₂				
O ₂				
CO ₂				
H ₂ O				
NO ₂				
O ₃				

2. Quais moléculas não são afetadas por nenhum tipo de radiação? Por que isso é importante?

Resposta:

3. Quais moléculas interagem com a radiação infravermelha? Com base na interação observada entre a radiação infravermelha e as moléculas que interagem com ela, explique o que acontece na atmosfera quando a concentração dessas moléculas aumenta.

Resposta:

4. Com base na interação observada entre a radiação de micro-ondas e a água, descreva como um forno de micro-ondas aquece os alimentos.

Resposta:

5. Observando a interação entre a radiação ultravioleta e a molécula de ozônio (O_3), explique por que a camada de ozônio é importante. Por que nessa interação o fóton incidente desaparece?

Resposta:

Referências

DAVID, Halliday, ROBERT, Resnick, WALKER, Jearl. **Os Fundamentos de Física, volume 4:** óptica e física moderna; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul. **Física Conceitual;** trad. Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina. 9ª.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOLANDA, Rodrigo. **Uma Proposta de transposição didática da Mecânica Quântica para o Ensino Médio:** 2017. 112. (Dissertação - Formação de Professores de Física em nível de Mestrado) – UFPE, Caruaru, 2017.

MAXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz, GUIMARÃES, Carla: **Física – Contesto e Aplicações:** física no Ensino Médio. 2ª. ed. São Paulo: Scipione, 2017.

RAMALHO, Francisco. NICOLAU, Gilberto; PAULO, Toledo. **Os Fundamentos da Física:** eletricidade e introdução a física moderna. 11ª.ed. São Paulo: Moderna, 2015.

TIPLER, Paul. **Física – vol. 4:** óptica e física moderna; tradução Fernando Ribeiro da Silva, Mauro Speraza Neto. 5ª.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

VÁLIO, Adriana et al. **Ser Protagonista:** física, 3º ano: Ensino Médio. 3ª.ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

YAMAMOTO, Kazuhito, FUKU, Felipe. **Física Para o Ensino Médio:** eletricidade e física moderna, 4ª.ed. São Paulo: Saraiva, 2017.