

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UFRPE



PERSONALIZAR A APRENDIZAGEM COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO HÍBRIDO, EM SEU MODELO DE ROTAÇÃO, ESPECIFICAMENTE COM A UTILIZAÇÃO DA SALA DE AULA INVERTIDA, POR MEIO DO DESENVOLVIMENTO DE UMA APOSTILA DE FÍSICA MODERNA, GOOGLE CLASSROOM, SIMULADORES VIRTUAIS E WEBQUIZ.

Gleydson Patrício de Souza Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:
Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Recife
Janeiro 2019

PERSONALIZAR A APRENDIZAGEM COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO HÍBRIDO, EM SEU MODELO DE ROTAÇÃO, ESPECIFICAMENTE COM A UTILIZAÇÃO DA SALA DE AULA INVERTIDA, POR MEIO DO DESENVOLVIMENTO DE UMA APOSTILA DE FÍSICA MODERNA, GOOGLE CLASSROOM, SIMULADORES VIRTUAIS E WEBQUIZ.

Gleydson Patrício de Souza Silva

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Presidente: Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues (UFRPE)

Membro Interno: Prof. Dr. Francisco Nairon Monteiro Júnior (UFRPE)

Membro Externo: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (UFPE – Polo CAA)

Suplente Interno: Prof. Dr. Ernande Barbosa da Costa (UFRPE)

Suplente Externo: Prof. Dr. Pedro Hugo de Figueirêdo (UFRPE)

Recife
Janeiro 2019

Dedico esta dissertação a minha querida filha Letícia, pois dela vem minha inspiração e vontade de alcançar novos objetivos. Igualmente, dedico as memórias de meu pai, Amauri e minha tia Márcia que sempre acreditaram em mim e me incentivaram. Mas que, infelizmente, não puderam ver esta etapa de minha vida.

Agradecimentos

Agradeço a toda minha família, pela confiança e apoio em todas as dificuldades encontradas durante esta jornada, principalmente a minha esposa Lilian que foi de suma importância em me ajudar a alcançar este objetivo.

De mesma forma agradeço a todos os professores do programa pelo aprendizado e o relacionamento cordial que pudemos ter durante o curso.

Em especial agradeço a minha orientadora Sara Rodrigues pela paciência, muita por sinal, atenção, dedicação e disponibilidade.

Aos Colegas da primeira turma do MNPEF por compartilharem conhecimentos experiências e grandes momentos no decorrer do curso.

Por fim, sou grato a Universidade Federal Rural de Pernambuco, a Sociedade Brasileira de Física e a Capes por construírem suporte na realização desse mestrado por meio da gestão do Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

RESUMO

PERSONALIZAR A APRENDIZAGEM COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO HÍBRIDO, EM SEU MODELO DE ROTAÇÃO, ESPECIFICAMENTE COM A UTILIZAÇÃO DA SALA DE AULA INVERTIDA, POR MEIO DO DESENVOLVIMENTO DE UMA APOSTILA DE FÍSICA MODERNA, GOOGLE CLASSROOM, SIMULADORES VIRTUAIS E WEBQUIZ.

Gleydson Patrício de Souza Silva

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Na presente dissertação trataremos das teorias pedagógicas que norteiam a metodologia de ensino híbrido, como o construtivismo de Ausubel, a teoria das inteligências múltiplas, a pirâmide de aprendizado e a teoria pedagógica do conhecimento de conteúdo. O ensino foi personalizado através do método de ensino híbrido especificamente em seu modelo de rotação sala de aula invertida. Analisamos assim, como valer-se do método híbrido para obter melhores resultados no desempenho do processo ensino-aprendizagem relacionados aos conteúdos da Física, especialmente a introdução à física moderna, onde tratamos os dois problemas chaves para o desenvolvimento da física no século XX. Para isto foi realizada uma pesquisa de sondagem que visou detectar os conhecimentos prévios dos discentes e a ótica deles sobre o método de ensino clássico que comumente está disponível a eles. Da mesma forma, buscamos entender quais os obstáculos epistemológicos mais comuns e como poderíamos superá-los com o uso de metodologias ativas e com as ferramentas da tecnologia da informação e comunicação. Separamos dois grupos, que foram submetidos aos mesmos conteúdos, um de forma clássica, e o outro a metodologia de ensino híbrido, depois foram avaliados de maneira única e seus desempenhos confrontados para verificação da

viabilidade da personalização do ensino do método híbrido e o uso das tecnologias digitais no processo educativo.

Palavras-chave: Personalização do Ensino de Física, Ensino Híbrido, Sala de Aula Invertida, Tecnologias na Educação, Metodologias Ativas, Física Moderna.

Recife
Janeiro 2019

ABSTRACT

CUSTOMIZE LEARNING WITH THE USE OF THE HYBRID EDUCATION METHOD IN ITS MODEL OF ROTATION, ESPECIALLY WITH THE USE OF THE ROOM OF INVERTED CLASSROOM, BY MEANS OF THE DEVELOPMENT OF A MODERN PHYSICS, GOOGLE CLASSROOM, VIRTUAL SIMULATORS AND WEBQUIZ.

Gleydson Patrício de Souza Silva

Supervisor(s):

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Master's Dissertation submitted to the Professional Postgraduate Program in Physics Teaching of the Universidade Federal Rural de Pernambuco, in the Professional Masters Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requisites required to obtain a Master's Degree in Physics Teaching.

In this dissertation, we will deal with pedagogical theories that guide a hybrid teaching methodology, such as Ausubel constructivism, a theory of multiple intelligences, a learning pyramid and a pedagogical theory of content knowledge. The teaching was personalized through the hybrid teaching method in its inverted classroom model. We thus analyze how to use the hybrid method in order to obtain best results of the teaching process throughout the course of physics, especially for the introduction to modern physics, where both programs are necessary for the development of physics in the twentieth century. For this it was done a survey was aimed to detected the students' prior knowledge and their perspective on classical teaching method commonly available to them. In the same way, we seek to understand the most common and powerful options on the use of technologies and media. We separated two groups, which were submitted to the same content, one in a classical way and another the hybrid teaching methodology, then were evaluated in a unique way and their performances confronted to verify the feasibility of the hybrid teaching personalization and the use of digital technologies in the process educational.

Keywords: Personalization of Physics Teaching, High School, Inverted Classroom, Technologies in Education, Active Methodologies, Modern Physics.

Recife
January 2019

Sumário

Capítulo 1	Introdução.....	01
Capítulo 2	Fundamentação Teórica.....	04
2.1	Definindo as Gerações.....	04
2.2	A personalização do Ensino.....	08
2.3	O Ensino Híbrido.....	12
2.4	A Sala de Aula Invertida.....	16
2.4.1	O papel do professor no ensino híbrido.....	17
2.4.2	A avaliação no ensino híbrido.....	18
2.5	Ensino híbrido e a teoria da educação do Conhecimento Pedagógico de Conteúdo Tecnológico (teoria CPCT).....	20
Capítulo 3	Conceituação das Teorias Físicas e Saberes Tecnológicos.....	22
3.1	O conhecimento tecnológico.....	22
3.1.1	O Google Classroom.....	23
3.1.2	O Youtube.....	24
3.1.3	O Podcast.....	24
3.1.4	A Apostila em PDF.....	24
3.1.5	O quiz online.....	24
3.1.6	Os Simuladores Virtuais.....	25
3.2	O conhecimento de conteúdo.....	25
3.2.1	Radiação do Corpo Negro.....	26
3.2.2	A Lei do deslocamento de Wien.....	27
3.2.3	A Lei de Stefan-Boltzmann.....	28
3.2.4	A Teoria Clássica.....	29
3.2.5	A Teoria Quântica de Planck.....	38
3.2.6	As ideias de Planck.....	39
3.2.7	A Lei empírica de Wien.....	42
3.2.8	As conexões da Lei de Planck com as Leis de Rayleigh-Jeans e Wien....	43
3.2.9	A Lei de Stefan-Boltzmann.....	44
3.2.10	A Lei do deslocamento de Wien.....	46
3.2.11	O Efeito Fotoelétrico.....	49
3.2.12	A quantização de Einstein.....	52
Capítulo 4	Metodologias na Aplicação do Produto Educacional.....	54
4.1	Descrição e informações sobre a escola.....	54
4.2	O perfil do professor de física.....	56
4.3	O perfil do aluno.....	56
4.4	Tecnologias utilizadas na aplicação do método híbrido.....	56
4.5	Atividades desenvolvidas no ensino híbrido.....	57

Capítulo 5 Resultados.....	64
5.1 Dados coletados do teste 1	64
5.2 Dados coletados do teste 2.....	67
5.3 Dificuldades na aplicação do Ensino Híbrido.....	74
5.4 Os pontos positivos da metodologia de ensino híbrido	74
5.5 Relatos do professor das turmas.....	75
5.6 O que fazer para melhorar?.....	75
Capítulo 6 Conclusões.....	77
Apêndice 1 Abrindo uma sala no <i>Google Classroom</i>	80
Apêndice 2 Criando um <i>quiz online</i> de múltipla escolha.....	91
Apêndice 3 Teste 1 Sondagem.....	98
Apêndice 4 Teste 2 Verificação de Aprendizagem	99
Apêndice 5 Apostila Introdução à Física Moderna.....	100
Referências Bibliográficas	151

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Pirâmide de aprendizagem de William Glasser.	8
Figura 2.2 – Modelo esquemático de proposta de ensino híbrido.....	15
Figura 2.3 – Modelo esquemático do método CPCT.....	21
Figura 3.1 – Ilustração da Lei do Deslocamento de Wien.....	27
Figura 3.2 – Caixa cúbica com uma pequena cavidade e osciladores em seu interior.....	29
Figura 3.3 – Representação esquemática de ondas estacionárias.....	31
Figura 3.4 – Esquema da lei de Rayleigh-Jeans em comparação aos dados experimentais.....	37
Figura 3.5 - Representação esquemática da forma da curva experimental para a densidade de energia da radiação do corpo negro $\rho(\nu, T)$ para um T fixo e as respectivas aproximações de Wien-Planck (altas frequências) e Rayleigh-Jeans (baixas frequências).....	42
Figura 3.6 – Representação gráfica dos deslocamentos dos máximos das funções com temperaturas fixas diferentes.....	45
Figura 3.7 – Curvas transcendentais, cuja intersecção fornece a solução em $x = 4,9688$	47
Figura 3.8 – Aparato experimental para verificação do efeito fotoelétrico.	48
Figura 3.9 – ilustração do potencial de corte do efeito fotoelétrico para diferentes intensidades de radiação eletromagnética.....	50
Figura 4.1 - Fachada da Escola Estadual Senador Aderbal Jurema.....	53
Figura 4.5 - Auditório da Escola Estadual Senador Aderbal Jurema.....	54
Figura 4.6 – Radiômetro de Crookes e fonte de luz negra.....	57
Figura 4.7 – alunos experimentando o Radiômetro de Crookes.....	57
Figura 4.8 – Simulador virtual da lei do deslocamento de Wien.....	58
Figura 4.9 – Alunos resolvendo problemas em grupo.....	59
Figura 4.10 – Roda de debates sobre teoria clássica x teoria quântica.....	59
Figura 4.11 – Lousa incompleta para ser devidamente preenchida pelos alunos.	60
Figura 4.12 – Alunos observando a simulação do efeito fotoelétrico através de um simulador virtual.....	61

Figura 4.13 – Simulador virtual do efeito fotoelétrico.....	61
Figura 4.14 – Interface do <i>quiz online</i> utilizado como ferramenta de aprendizagem.....	62

Lista de tabelas

Tabela 5.1- Resultados da verificação de aprendizagem no método de ensino híbrido.....	67
Tabela 5.2 - Resultados da verificação de aprendizagem no método de ensino clássico.....	68

Capítulo 1

Introdução

O método do ensino híbrido vem ganhando adeptos nos últimos anos e no Brasil especificamente existem órgãos de pesquisas educacionais que apostam em inovações e tecnologias como o Instituto Península e a Fundação Lemann. Esses dois órgãos formaram um grupo de experimentação constituído por 16 professores, que lecionavam em turmas diversas em redes públicas e privadas por todas as regiões do Brasil que realizou os experimentos durante oito meses e, após esse período, suas experiências e reflexões acerca do Ensino Híbrido foram transcritas no livro: Ensino Híbrido personalização e tecnologia na educação, os organizadores da obra são Lilian Bacich, Adolfo Tanzi Neto e Fernando de Mello Trevisani, que atualmente são as maiores referências do Brasil no assunto junto ao José Morán.

A novidade do ensino híbrido é a inserção das tecnologias da comunicação e informação em alguns métodos já conhecidos, como as metodologias ativas. O nome híbrido vem da ideia de mistura conhecida no inglês como *blended*, essa expressão de acordo com (Bacich, Tanzi Neto & Trevisani) é: “uma ideia de educação que não existe uma forma única de aprender e na qual a aprendizagem é um processo contínuo, que ocorre de diferentes formas, em diferentes espaços”. Sendo assim, o ensino híbrido desconstrói o mito de que a aprendizagem só pode acontecer na forma: conteudista, massiva, e exclusiva em sala de aula com suas cadeiras perfeitamente alinhadas.

A mistura que o método retrata é o já conhecido sistema tradicional de ensino com o reconhecido sistema de ensino a distância. Um vem para auxiliar o outro e esta fusão nos permite extrair as melhores ferramentas dos dois mundos, o real e virtual, com a finalidade de potencializar o processo de ensino-aprendizagem. E de que forma isto ocorre? Segundo (Valente 2015): se o estudante se preparou antes do encontro presencial, o tempo de aula pode ser dedicado ao aprofundamento da sua compreensão acerca do conhecimento construído, sendo possível recuperá-lo, aplicá-lo e, com isso, construir novos conhecimentos. De acordo com as teorias sobre aprendizagem, essa é uma

importante fase desse processo que no ensino tradicional o aluno realiza após a aula e sem apoio dos colegas e do professor. No ensino híbrido, esse apoio ocorre no momento em que o estudante mais necessita, ou seja, *just in time*.

Quanto ao conteúdo de Física Moderna, as redes privadas de ensino que possuem seus próprios sistemas de ensino, suas apostilas, conseguem desenvolver esse conteúdo igualmente aos alunos sem maiores problemas. Já nas redes públicas de ensino quase não é lecionado. Seus livros, distribuídos pelos governos, e aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) são superficiais e pouco utilizados. Quando mencionamos o assunto física moderna descreve-se apenas as radiações eletromagnéticas e a relação de Planck e/ou o efeito fotoelétrico, de maneira bem rasa ou como apêndice. Desta forma, o presente trabalho de criação da apostila, vem contribuir com os professores das redes públicas do ensino médio que desejam poder lecionar o conteúdo que é difícil de encontrar em alguns livros e até na *internet* com a devida transposição didática. A apostila é destinada também para os alunos que pretendem realizar provas de vestibulares que exigem determinados conhecimentos aos quais os mesmos não têm acesso.

Quanto à Metodologia empregada, na fase de inicial foi aplicado um teste de sondagem aos alunos para averiguar a vivência deles com as tecnologias digitais da comunicação e informação, o uso dessas ferramentas em sala de aula e a existência de conhecimento prévio sobre o conteúdo de física moderna.

Na segunda fase do trabalho foram separados dois grupos de alunos, os que participaram da experiência com o ensino híbrido, grupo 1, e um segundo grupo que foi submetido aos mesmos conteúdos que o primeiro, contudo o grupo 2 não experimentou o método em análise, pois, todas as aulas durante o período de aplicação foram apenas expositivas sem auxílio de qualquer ferramenta além da lousa e do livro didático.

A fase final constituiu-se da aplicação de um novo teste, neste agora, com questões relativas apenas ao conteúdo ministrado nas aulas. O teste foi único para os dois grupos e aplicado simultaneamente para que não houvesse interferência externa nos resultados.

Para a presente monografia foram levantadas as seguintes hipóteses:

- A metodologia de ensino híbrido é fácil e pode ser aplicada em qualquer escola.
- Após a aplicação do método houve alguma diferença no desenvolvimento dos alunos em relação a cognição e aos conteúdos.
- Os conteúdos de física propostos na vivência híbrida foram bem desenvolvidos. O conhecimento foi construído. E houve diferença entre os grupos.

Este trabalho está dividido da seguinte forma:

No capítulo 2 foi feita uma revisão bibliográfica sobre o ensino híbrido e a teoria do conhecimento pedagógico de conteúdo tecnológico (CPCT). Além disso, também foram tratados os conflitos entre as gerações, a pirâmide de aprendizado, a personalização do ensino e a teoria das inteligências múltiplas.

No capítulo 3 apresentamos cada elemento da teoria CPCT, aprofundando assim os conhecimentos dos temas de radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico utilizados no trabalho e na experiência.

A seguir no capítulo 4 mostrada a metodologia empregada e como já descrita acima sobre o ambiente de aplicação e atividades realizadas no processo.

No capítulo 5 são detalhados os resultados e experimentos, onde são feitas comparações e discussões. Neste capítulo também são abordadas a maneira da avaliação e o motivo de sua escolha.

Finalmente no capítulo 6 trazemos as conclusões dos experimentos e as respostas às hipóteses levantadas no início deste capítulo.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

A crise no sistema educacional brasileiro faz com que educadores de todo país procurem novas maneiras de ensino, novos materiais, ideias para o desenvolvimento do processo ensino-aprendizagem. Haja vista que os resultados dos métodos tradicionais já não são suficientes para a geração atual e conseqüentemente as posteriores. No mundo cada vez mais amplo e digital o método de “Educação Mecânica” torna-se obsoleto. É necessário entender as características de cada geração para compreender o conflito entre a motivação dos alunos e seus desempenhos em sala de aula, bem como a motivação dos professores e seus desempenhos.

2.1 Definindo as Gerações

A palavra **geração** segundo o Dicionário Aurélio apresenta 12 significados, no entanto o que se aplica ao contexto é “*Conjunto dos homens da mesma época*”.

“[...] uma geração não é formada apenas por pessoas de mesma idade ou nascidas numa mesma época, e sim também por pessoas que foram modeladas numa época dada, por um mesmo tipo de influência educativa, política ou cultural, ou que vivenciaram e foram impressionadas pelos mesmos eventos, desenvolvem sobre a base de uma experiência comum ou semelhante, os elementos de uma consciência de se ter vínculos em comum, o que pode ser chamado de “sentimento de geração” ou ainda de “consciência de geração” (Forquin 2003, p. 3)

O período de tempo de cada geração foi encurtado nas novas classes genealógicas conforme (Mayer 2018). Nas gerações anteriores o intervalo de tempo era aproximadamente de 25 anos e atualmente é em média de 10 anos devido a evolução

socioeconômica e expansão tecnológica. De igual forma afirma Oscar Yañez, diretor do Centro de Ensino e Aprendizagem da Universidade do Chile:

“Se antigamente uma nova geração era formada a cada 25 anos, hoje os saltos geracionais acontecem a cada década. Enquanto a geração X é composta por pessoas que nasceram entre 1960 e 1980, após o chamado *baby boom* das décadas de 1920 e 1940 nos Estados Unidos, e a geração Y compreende aqueles que nasceram entre o fim dos anos 1970 e o início dos anos 1990, a geração Z abarca os jovens nascidos entre 1992 e 2010. Esse tipo de contagem tornou-se importante desde que se passou a aceitar que o momento socioeconômico e histórico influencia diretamente o comportamento dos indivíduos. Ou seja, diferentes períodos da história têm impacto sobre a forma como jovens e adultos consomem, trabalham e aprendem.”

As gerações são marcadas por características específicas dos indivíduos contemporâneos. Temos a seguinte classificação das gerações, são elas: *Baby Boomers*, Geração X, Geração Y, Geração Z. Segundo, (Mayer, 2018).

Considerando o âmbito educacional do ensino médio regular inserido no contexto atual apenas as gerações X, Y e Z estão envolvidas e da seguinte forma: X e Y como docentes e Z discentes. Descrevemos a seguir as principais características dessas gerações:

- Geração X – os indivíduos dessa geração são: disciplinados, centralizadores, regradados, obedientes, conservadores, burocráticos e focam resultados.
- Geração Y – possuem uma mentalidade global, passaram por uma mudança tecnológica muito grande em um intervalo de tempo relativamente curto. O perfil característico dessa geração é: descentralizador, buscam posições de liderança, aceitam mais facilmente as diferenças e são otimizadores de processos.
- Geração Z - são nativos digitais, tem necessidade de exposição, odeiam fazer qualquer tipo de trabalho doméstico, têm pais superprotetores, acesso fácil a informação, apresentam dificuldades de se concentrar e são imediatistas.

O conflito entre os hábitos peculiares de cada geração manifesta-se como obstáculos epistemológicos do processo de ensino-aprendizagem nas salas de aula. De acordo com (Lima, 2014): *“uma pesquisa realizada pelo Ibope e pelo Instituto Paulo Montenegro, a pedido da Fundação Telefônica Vivo, mostrou que cerca de 70% dos jovens internautas brasileiros confiam mais em professores que sabem usar internet e recursos tecnológicos como instrumentos de aprendizagem”*. Em contrapartida, a realidade é bem contrastante com a expectativa dos discentes visto que, também segundo a Gazeta do Povo: *“Um estudo divulgado no ano passado pelo Comitê Gestor da Internet no Brasil (CGI.br) mostrou que só 2% dos professores usam a internet em sala de aula”*.

A dificuldade de concentração, distração constante e perda de valores da geração Z tem sido um grande desafio aos docentes atuais, que não foram preparados para enfrentar tal situação, pois os mesmos foram forjados em uma educação rigorosamente tradicional e sem os avanços tecnológicos, mobilidade e conectividade, acesso rápido e dinâmico as informações que seus alunos possuem. Sendo assim, a maioria dos professores que atuam hoje são perfilados como disciplinados, centralizadores, regrados, obedientes, conservadores, burocráticos e que focam resultados. Encontram dificuldades na vivência com esta nova geração de características tão diferentes, eles não foram preparados a confrontar tais situações e tentam impor a disciplina, inerente as suas características, a qual os discentes não estão acostumados.

A educação brasileira vem passando por um período de transição nas quais, as mudanças são necessárias para que se possa existir aprendizagem significativa no processo educacional. Moreira destaca da teoria de David Ausubel dois conceitos chaves para o desenvolvimento do processo ensino-aprendizagem que são: aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa, (Moreira, 2011). Elas não são ideias opostas fazem parte de um processo contínuo, mas apresentam suas próprias aplicações não sendo também uma superior à outra. Na aprendizagem mecânica, a informação é armazenada de maneira arbitrária, é uma aprendizagem por absorção, como a definição de um conceito físico. Já a aprendizagem significativa de acordo com o autor a definição de Ausubel é:

“Aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com a estrutura de conhecimento

especifica a qual Ausubel define como conceito subsunçor.”

Os subsunçores são informações necessárias para o desenvolvimento de um conceito mais sofisticado, embora não aconteça sempre. Eles formam uma base em que as novas informações irão se firmar formando um novo conceito mais sólido e assim constituindo a aprendizagem significativa. Eles podem ser formados por meio de aprendizagem mecânica, por isso toda essa estrutura é conhecida como um processo contínuo.

O processo atual baseia-se no método tradicional onde o professor é o centro e o aluno possui um papel passivo de apenas absorver conteúdos, no entanto essa nova geração consegue informações de forma instantânea acreditando que pode substituir o professor por um site de buscas como o *Google*.

Uma alternativa para encontrar o caminho da motivação dos alunos na sala de aula é torná-lo ativo, um protagonista. Segundo Morán, (Morán, 2015) “*As metodologias ativas são pontos de partida para avançar para processos mais avançados de reflexão, de integração cognitiva, de generalização, de reelaboração de novas práticas*”. Aliado às metodologias ativas, estão as tecnologias digitais da informação e comunicação (TDICs), que são ferramentas facilitadoras do ensino, auxiliares ao professor. A importância da utilização dessas tecnologias e metodologias ativas fica evidente quando analisamos a pirâmide da aprendizagem de William Glasser na figura 2.1 e comparamos a participação ativa e passiva com seus respectivos graus de aprendizagem.

Ler, ouvir e ver isoladamente são consideradas formas passivas de aprendizagem que são muito utilizadas no método de ensino tradicional. Enquanto algo como assistir um filme em que são utilizados simultaneamente os sentidos da audição e visão o grau de aprendizagem aumenta, um debate após o filme, por exemplo, notamos que há uma maior eficácia no grau de aprendizagem, desse modo é possível mostrar como as TDCIs potencializam o processo de ensino-aprendizagem.

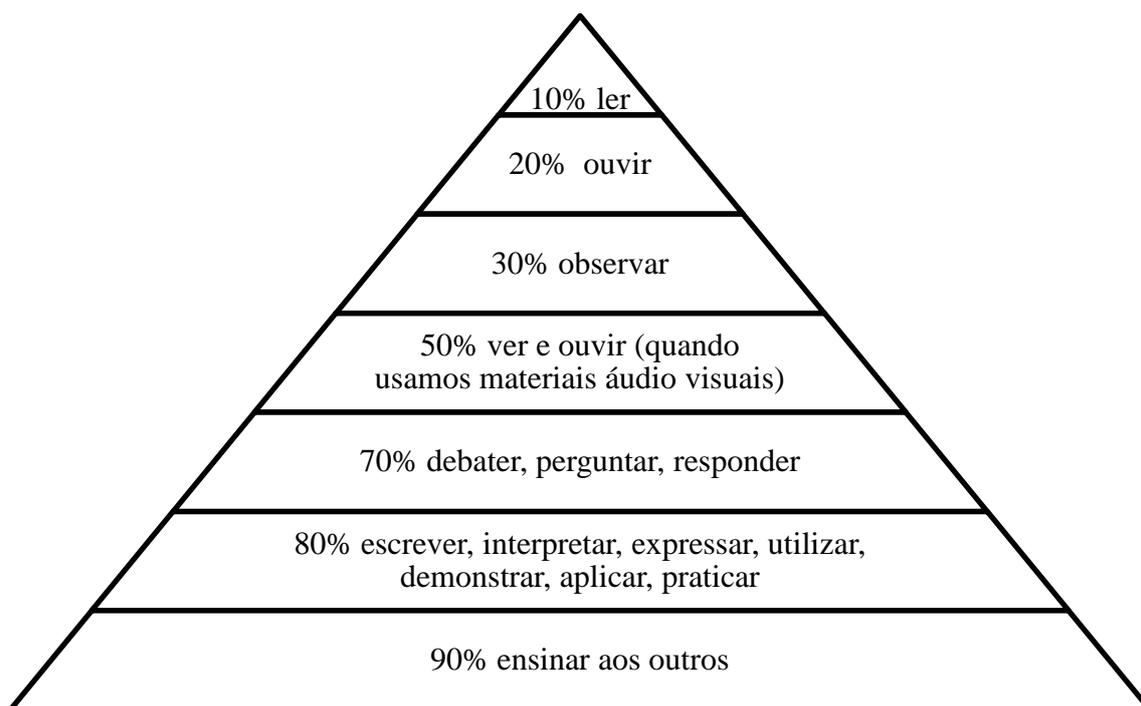


Figura 2.1 Pirâmide de aprendizagem de William Glasser.

As metodologias ativas estimulam a curiosidade dos alunos, que os tornam participativos, seres pensantes e criativos. Aliando-as com as tecnologias digitais os efeitos são potencializados e cria-se assim uma boa educação. Conforme William Glasser: *“A boa educação é aquela em que o professor pede para que os alunos pensem e se dediquem a promover um diálogo para promover a compreensão e o crescimento dos estudantes”*.

2.2 A personalização do Ensino

É possível avaliar corretamente e ser justo com todos os alunos quando se fornece a mesma aula com os mesmos métodos e a mesma forma avaliativa para todos?

Baseando-se na Teoria de Inteligências Múltiplas de Howard Gardner, *“Inteligência é a habilidade para resolver problemas ou criar produtos que sejam significativos em um ou mais ambientes culturais”*. Podemos observar a inadequação de se ter uma forma padrão para todos os alunos na maneira de ensinar e avaliar seus aprendizados. Detalhando as formas de Inteligência de acordo com Gardner (Gardner, 1995, p.22).

1) Lógica matemática: Trata-se da sensibilidade para padrões, ordem e sistematização. Habilidade para lidar com uma linha de raciocínio, levantar hipóteses, trabalhar com

manipulação de símbolos. Mais presente em matemáticos, físicos e diversas pessoas que lidam com raciocínios lógicos e matemática.

2) Linguística: Sensibilidade para o significado das palavras e funções da linguagem, sensibilidade para usar a linguagem de forma apropriada para transmitir ideias. Facilidade para aprender idiomas. Mais presente em poetas, escritores e diversas pessoas que usam a linguagem de forma efetiva.

3) Espacial: Percepção do mundo visual e espacial, pensar de maneira tridimensional, criar, transformar e modificar imagens, se localizar e localizar objetos no espaço. Mais presente em arquitetos, escultores, navegadores e diversas pessoas que operam com o espaço.

4) Corporal-cinestésica (ou físico-cinestésica): Capacidade de controlar o corpo de forma fina, com coordenação, precisão e habilidade. Mais presente em atletas, dançarinos e diversos artistas.

5) Interpessoal: Capacidade de interagir de forma efetiva com outras pessoas, responder apropriadamente aos temperamentos, humores, motivação, compreender e motivar. Mais presente em políticos, vendedores, professores, líderes e diversas pessoas que trabalham com motivação.

6) Intrapessoal: Capacidade de entender a si mesmo, lidar com seus desejos e sonhos, direcionar a própria vida de forma efetiva. É o correlativo interno da inteligência interpessoal.

7) Musical: Habilidade para produzir e apreciar ritmos, tocar instrumentos e compor.

8) Natural: Sensibilidade com a natureza, para o entendimento da mesma e desenvolvimento de habilidades biológicas

9) Existencial: Capacidades filosóficas, refletir sobre a existência e a vida.

Como podemos ver segundo Gardner as pessoas possuem um ou mais tipos de inteligências e é o que um professor encontra em uma sala de aula. Essa heterogeneidade deve ser levada em consideração nas aulas, nas abordagens introdutórias, abstrações, propostas de atividades e reflexões. No entanto, o que temos é um método de ensino que prioriza algumas habilidades (lógico-matemática e linguística) em detrimento as outras forçando os alunos numa espécie de molde. Mas as pessoas são diferentes e conseqüentemente aprendem de maneiras distintas e levar isso em consideração é o desafio, como ressaltado em: “parte do princípio de que as pessoas aprendem de formas diferentes e em ritmos diferentes, com base nos seus conhecimentos prévios, habilidades, interesses e emoções”. (Porvir,2014,p.1)

As metodologias ativas de modo geral, acontecem por meio da interação do aluno com o tema estudado, o conhecimento é construído pelo próprio estudante sem que receba de forma passiva do professor. A aplicabilidade da metodologia ativa permite que o aluno ouça, fale, pergunte e discuta o tema abordado em sala de aula (Barbosa; Moura, 2013).

Morán afirma que as metodologias ativas são pontos de partida para avançar para processos mais avançados de reflexão, de integração cognitiva, de generalização, de reelaboração de novas práticas. (Morán, 2015).

Uma boa sugestão didática para poder extrair o melhor rendimento dos processos cognitivos de cada aluno é a personalização do ensino. É evidente que conhecendo a rotina de trabalho dos professores essa proposta é rejeitada e criticada, em muitas vezes, sem ao menos ser testada ou saber de que se trata. Pois alguns entendem que a personalização do ensino é fazer um plano de aula para cada aluno, diversos planos de ensino implicariam em mais trabalhos burocráticos além dos muitos que os docentes já possuem, no entanto isso não é verdade. O que ocorre é que a personalização agita a zona de conforto do professor, que terá de repensar suas atividades e seus métodos. Embora esse seja o grande desafio dos professores no início do século XXI.

Personalizar é poder abordar os conteúdos de formas diferenciadas com a finalidade de obter o máximo alcance nos objetivos e que o processo de ensino-aprendizagem seja contínuo, progressista, atingindo todos os alunos da mesma forma. É motivar os alunos e fazê-los achar sentido nos conteúdos estudados com algo que contribua em seu projeto de vida, é avaliar de maneiras diferentes, é aproveitar o conhecimento prévio de cada um, é construir um saber na base do compartilhamento e da cooperação.

Um projeto de personalização que realmente atenda aos estudantes requer que eles, junto com o professor, possam delinear seu processo de aprendizagem, selecionando recursos que mais se aproximam de sua melhor maneira de aprender. Aspectos como o ritmo, o tempo, o lugar e o modo como aprendem são relevantes quando se reflete sobre a personalização do ensino. (Bacich, Tanzi Neto, Trevisani, 2015).

A personalização é um advento que deve ser incorporado ao projeto político pedagógico da escola com a participação de todos os docentes para se conseguir uma mudança de paradigmas que tragam resultados diferentes daqueles que já conhecemos.

O que se busca com a personalização de ensino nesse caso é, essencialmente, superar o trabalho que é realizado nas escolas que usam metodologias tradicionais, onde o professor expõe os conceitos sem garantias efetivas de que todos os estudantes estejam de fato entendendo, e alcançar todos os alunos (Sunaga, Carvalho, p. 144)

É possível planejar atividades diferentes para grupos de alunos diferentes, em ritmos distintos e com possibilidade real de acompanhamento pelos professores. Esses recursos mapeiam, monitoram, facilitam a interaprendizagem (aprendizagem que resulta da ação entre duas ou mais pessoas; ação recíproca que produz aprendizagem) com a prática e a experiência (Siemens, 2005). Nesse contexto reforça-se o uso de TDICs que podem fornecer subsídios para que seja possível alcançar as diversas habilidades e competências de grupos heterogêneos e otimizar o trabalho do professor. De fato, segundo Lira, 2016, pg 57:

“Portanto, os recursos tecnológicos são imprescindíveis a prática pedagógica hodierna. Uma coisa, porém, é certa: vamos falar de múltiplas educações para pessoas diferentes. Essas diferenças estarão, obrigatoriamente, ligadas às condições para o uso e acesso de tecnologias cada vez mais avançadas”.

Tanto a personalização do ensino quanto o uso de TDICs para o desenvolvimento de habilidades de século XXI foram comentadas por Anna Penido, Diretora do Instituto Inspirare e Rafael Parente Presidente do Conselho do Celpe (Centro de Excelência e Inovação em Políticas Educacionais da FGV-RJ), (Revista Pequenas Empresas & Grandes Negócios de agosto de 2017 pág. 63), cujo o tema fora: “os novos empreendedores da educação” como as principais tendências e oportunidades que vão nortear o setor da educação daqui para frente:

“Cada estudante possui habilidades distintas, aprendendo das mais diversas formas e em ritmos diferentes. Logo está claro para os educadores que não se pode ensinar do mesmo jeito e nem esperar o mesmo resultado de todos os alunos. Entram em cena metodologias de ensino que

respeitam o ritmo de cada aluno e sistemas adaptativos capazes de oferecer feedback imediato sobre tópicos em que o usuário teve dificuldades e sugerir atividades de reforço personalizados”.

Corroborando a essa afirmativa, Araujo *et al.* (Araujo *et al.* 2014) defendem que a introdução dessas tecnologias na sociedade é um processo contínuo e irreversível, incentivando um novo modelo educativo. Com a introdução das tecnologias digitais na sociedade, o sistema educacional não poderia ficar de fora. Os métodos de ensino também necessitariam de uma reformulação de tal forma a se tornar compatível com a atual sociedade.

Os métodos tradicionais, que privilegiam a transmissão de informações pelos professores, fazem sentido quando o acesso à informação era difícil. Com a internet e a divulgação aberta de muitos cursos e materiais, podemos aprender em qualquer lugar, a qualquer hora e com muitas pessoas diferentes, isso é complexo, necessário e um pouco assustador, porque não temos modelos prévios bem sucedidos para aprender de forma flexível numa sociedade altamente conectada. (Almeida, Valente, 2012).

Diante da discussão, um modelo que é promissor à educação moderna, atendendo aos alunos em suas necessidades e expectativas, e que rompe com o tradicionalismo arraigado em nosso sistema educacional, é o Ensino Híbrido.

2.3 O Ensino Híbrido

Esta modalidade de ensino não é novidade. Ela surgiu no meado do século XX nos Estados Unidos e veio para o Brasil por volta da década de 60 inicialmente nas escolas de enfermagem, com um ensino através de problemas reais e investigação. Com o avanço das tecnologias e a expansão do ensino a distância, a modalidade híbrida tornou-se referência na atualidade diante de seus resultados, como afirma, Deborah Ouchana (Ouchana, Deborah. Revista Educação, 19 de outubro de 2015).

“Uma pesquisa realizada pelo Departamento de Educação dos Estados Unidos mostra que a modalidade híbrida – que combina recursos das modalidades presencial e a distância – tem resultados superiores.” Betina se refere a um levantamento que selecionou e analisou 45 pesquisas sobre o tema publicadas entre 1996 e 2008. De 11 estudos que mostravam vantagens significativas da EAD, nove apresentavam uma abordagem de ensino híbrido.

O termo híbrido originou-se da palavra inglesa *blended*, que significa; misturado, mesclado. Essa mistura pode ser dada por diversos fatores como a complexidade de aprendermos com processos organizados, formais, e processos abertos, informais. Também pela variedade cultural, social e política. De acordo com Morán: “Híbrido é um conceito rico, apropriado e complicado”. O autor ainda evidencia o caráter prolixo do conceito e mostra a possibilidade de um aprendizado que leva em conta tudo que de fato circunda e interfere nos processos cognitivos como em destaque: “podemos ensinar e aprender de inúmeras formas, em todos os momentos, em múltiplos espaços”. Mas o híbrido que será destacado neste trabalho é a definição dada pelo *Clayton Christensen Institute* que é uma das referências nessa modalidade de ensino nos Estados Unidos.

“O ensino híbrido é um programa de educação formal no qual um aluno aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino *on-line*, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, lugar, modo e/ou ritmo do estudo, e pelo menos em parte em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência.” (Christensen, Horn, Staker, 2013).

Portanto, o ensino híbrido vem mesclar as modalidades do ensino presencial com o ensino a distância. E permite que os alunos possam desenvolver suas habilidades em espaços físicos e virtuais. Todavia não é um processo finalizado ou que ocorre muito bem definido pois ele não é único e nem uniforme de acordo com (Bacich, Tanzi Neto, Trevisani, 2015).

“A expressão ensino híbrido está enraizada em uma ideia de educação híbrida, em que não existe uma forma única de aprender e na qual a aprendizagem é um processo contínuo, que ocorre de diferentes formas, em diferentes espaços.”

Ao falar do ensino híbrido é necessário entender que ele se divide em modelos sustentados e modelos disruptivos. Os modelos sustentados apresentam mudanças gradativas nos ambientes educacionais também se valem da estrutura já existente nas escolas, sem muitas mudanças, e visando o melhoramento do processo ensino-aprendizagem. São aproveitadas as estruturas físicas da escola, estrutura do corpo docente e materiais didáticos, inserindo assim novas metodologias e planejamentos na execução das aulas.

Já os modelos disruptivos apresentam mudanças abruptas na estrutura física, na estrutura curricular, e pode chegar ao corpo docente, mas que podem enriquecer os modelos sustentados. Eles exigem mais tempo *online* e mudanças no ambiente físico da escola que praticamente não existe no Brasil.

Dentre os modelos sustentados também chamados de modelos de rotação, estão; Rotação por Estações, Laboratório Rotacional, Sala de Aula Invertida e Rotação Individual. Nos modelos disruptivos são subdivididos em; Modelo *Flex, à la carte* e Virtual enriquecido. A seguir podemos ver a descrição de cada modalidade baseada em Horn e Staker (2015).

Modelos de Rotação:

Aqueles em que os estudantes num curso ou disciplina alternam entre modalidades de aprendizagem em um cronograma fixo ou a critério do professor, onde pelo menos uma delas é ensino *online*. Podem ser:

- Rotação por Estações: um curso ou uma disciplina em que é utilizado o modelo de Rotação em uma sala de aula ou grupo de salas de aula.
- Laboratórios Rotacionais: um curso ou uma disciplina em que os estudantes alternam para um laboratório de informática que serve de estação de ensino *online*.
- Sala de Aula Invertida: um curso ou uma disciplina em que os estudantes têm ensino *online* fora da sala de aula, em lugar de lição de casa tradicional.

- Rotação Individual: um curso ou uma disciplina em que cada estudante tem um cronograma individual e não necessariamente alterna para cada estação ou modalidade disponível.

Modelo Flex:

É aquele em que um curso ou uma disciplina *online* é a espinha dorsal da aprendizagem do estudante, mesmo que às vezes ela o direcione para atividades presenciais. Os estudantes aprendem por meio de um cronograma fluido, individualmente personalizado entre as modalidades de aprendizagem.

Modelo À La Carte:

Aquele em que um estudante faz inteiramente um curso *online* para acompanhar outras experiências em uma escola ou um centro de aprendizagem físicos. O professor da disciplina para o curso à la carte é o professor *online*. Os estudantes fazem alguns cursos à la carte e outros presenciais em uma escola física.

Modelo Virtual Enriquecido:

Aquele em que os estudantes num curso ou disciplina têm sessões de aprendizagem presencial obrigatórias com seu professor da disciplina e, então, ficam livres para completar o trabalho restante do curso distante do professor presencial. Na figura 2.2 verifica-se um esquema detalhado da organização do modelo de ensino híbrido.

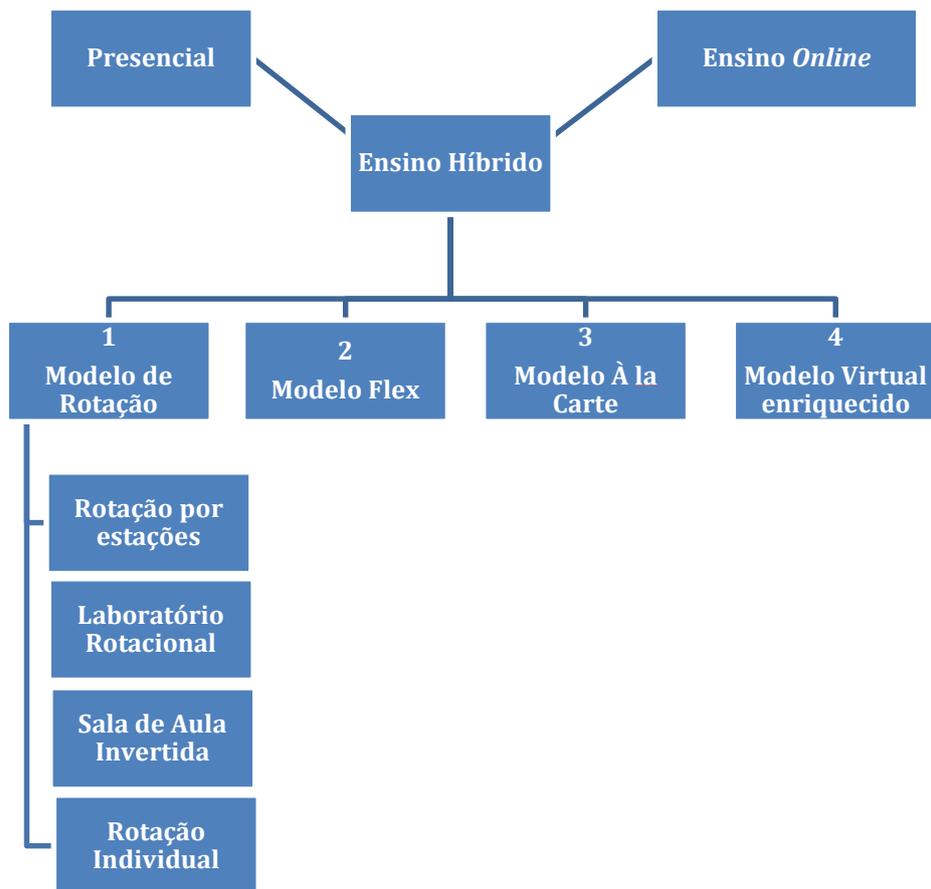


Figura 2.2 – Modelo esquemático de proposta de ensino híbrido. (Horn, Staker, 2015)

2.4 A sala de aula invertida

Diante das possibilidades encontradas no método de ensino híbrido, o modelo da sala de aula invertida (SAI), é o mais fácil de se introduzir e executar, portanto, é recomendável para aqueles professores que queiram iniciar seus trabalhos no modelo de ensino híbrido.

Não se sabe ao certo quem inventou o termo ou o modelo, mas dois professores americanos, Jonathan Bergmann e Aaron Sams foram responsáveis pela difusão do método nos Estados Unidos da mesma forma como foram pioneiros em utilizar recursos digitais na aplicação do mesmo (Bergman; Sams, 2018). E de acordo com os autores a SAI é: “o que tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito como trabalho de casa, agora é realizado em sala de aula”.

Sendo assim, os alunos não fazem mais perguntas de imediato e nem pesquisas em casa. os autores afirmam que inicialmente treinaram os alunos a assistirem seus

vídeos, funcionando como a aula expositiva e que podem ser visualizados em qualquer lugar a qualquer hora, a anotarem suas dúvidas e a partir daí em sala de aula, gastam os minutos iniciais do encontro presencial respondendo as dúvidas dos alunos e promovendo discussões para fazer uma ligação com a aula do dia, que pode ser prática de laboratório, solução de problemas ou pesquisa. Consequentemente, não é mais necessário repetir a mesma aula expositiva várias vezes por dia, há ganho para o professor e para o aluno, já que os alunos que mais necessitam de ajuda terão mais tempo do professor disponível para sanarem suas dúvidas. A grande vantagem que essa metodologia traz é na reestruturação do tempo, que era usado para expor conteúdos, e agora é aproveitado na realização de prática orientada num modo mais intenso, ou/e na solução de problemas.

2.4.1 O papel do professor no ensino híbrido

Nesta metodologia, as ações do professor são transformadas, pois seu papel está ligado com a evolução da informação da sociedade. No entanto, poucas mudanças aconteceram nas salas de aulas mesmo com a explosão tecnológica que nos fornece informações instantâneas. Segundo o professor do curso de Pedagogia na Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), João Roberto Mendes:

“Mesmo os profissionais mais propensos a usar tecnologia, frequentemente limitam-se a apresentar conteúdos referentes às suas aulas, mas raramente são planejadas atividades com foco na construção do conhecimento a partir das buscas feitas pelos estudantes na *internet*. Pouco se enfoca uma perspectiva que aproveita a familiaridade que as crianças e adolescentes apresentam em relação aos recursos tecnológicos, como editores de vídeos, *blog* educativos, *wiki*, *podcast* e outros”.

Desta forma, ele passa a ser um curador, orientador e não mais um transmissor de conhecimento. Sua abordagem necessita de uma maior aproximação com os alunos para entender cada mundo em particular, e procurar desenvolver o conhecimento de conteúdo da melhor forma possível para cada um. Freire (1997) destaca esse papel da seguinte forma: “O professor precisa estar em contato com seus alunos, conhecer sua realidade social e contribuir para uma formação não apenas de conteúdos, mas também de habilidades não cognitivas, como o protagonismo, a sociabilidade e a estabilidade

emocional”. O que não quer dizer que sua atividade reduza ou não necessite de seus conhecimentos específicos da disciplina, mas deve-se averiguar a melhor maneira pedagógica de construir o aprendizado específico, que pode ser com o uso da tecnologia ou não. Todavia a utilização dos recursos tecnológicos auxilia e potencializam o processo de ensino-aprendizagem. Conforme Morán, (Morán, 2015):

“O papel do professor é mais o de curador e de orientador. Curador, que escolhe o que é relevante entre tanta informação disponível e ajuda a que os alunos encontrem sentido no mosaico de materiais e atividades disponíveis. Curador, no sentido também de cuidador: ele cuida de cada um, dá apoio, acolhe, estimula, valoriza, orienta e inspira. Orienta a classe, os grupos e a cada aluno. Ele tem que ser competente intelectualmente, afetivamente e gerencialmente (gestor de aprendizagens múltiplas e complexas). Isso exige profissionais melhor preparados, remunerados, valorizados. Infelizmente não é o que acontece na maioria das instituições educacionais. As tecnologias permitem o registro, a visibilização do processo de aprendizagem de cada um e de todos os envolvidos. Mapeiam os progressos, apontam as dificuldades, podem prever alguns caminhos para os que têm dificuldades específicas (plataformas adaptativas). Elas facilitam como nunca antes múltiplas formas de comunicação horizontal, em redes, em grupos, individualizada”.

2.4.2 A avaliação no ensino híbrido

Como saber se houve aprendizado?

No modelo de ensino tradicional, existe um calendário para a realização de provas com todos os conteúdos do bimestre. Há também uma avaliação intermediária entre o início das aulas e as avaliações no fim do bimestre, que poderá ser fracionada ou não, fica a critério do professor que em alguns casos não definem datas para as avaliações intermediárias. O aluno nesse método é avaliado apenas pela sua capacidade de responder um ou dois questionários durante um bimestre.

No modelo de ensino híbrido, a avaliação é realizada de forma contínua e de maneiras diversificadas, visto que, cada aluno possui seu próprio tempo de aprendizagem e suas inteligências individuais. Sendo assim, a avaliação no ensino híbrido torna-se mais justa. Conforme Barbosa:

“O professor não precisa mais optar por um só tipo de instrumento ou realizar registros individualizados de cada aluno de forma exaustiva, pois os próprios alunos permanentemente oferecem dados a serem analisados; seu papel de mediador e avaliador ganham profundidade, e sua capacidade de interpretação contextualizada ganha relevância ainda maior. No ensino híbrido o professor é um permanente avaliador, e a avaliação, voltada ao processo de formação dos alunos, é levada ao seu potencial máximo. Dessa maneira, aos alunos oferece-se a possibilidade de integrar recursos com os quais já estão habituados à disposição para aprender. Disposição que favorece a apropriação do conhecimento, pertencimento tão necessário para o estabelecimento de um contínuo diálogo entre professor, aluno, espaço escolar e o mundo. O ensino híbrido, portanto, favorece a corresponsabilização, sobretudo entre alunos e professores, pela qualidade do ensino oferecido e da aprendizagem desenvolvida”. (Barbosa, 2016).

No caso da disciplina física, significa que não estamos avaliando apenas quando fornecemos um questionário e exigimos os cálculos referentes àqueles problemas. A avaliação pode ser feita como, por exemplo, um *quiz online* com perguntas conceituais, processo conhecidos como *gameficação*. Podem ser feitos relatórios sobre experimentos, discussão sobre questões cotidianas que podem ser precedidas por leituras de artigos como os do “pergunte ao CREF” do professor Fernando Lang. Desta forma, o processo avaliativo irá ajudar a desenvolver a autonomia do aluno e o principal: o aprender a aprender.

Hoje existem plataformas adaptativas que os alunos podem acessar para realizar atividades fora da rotina, e que o professor tem o acesso ao desempenho deles nessas

plataformas, ou seja, uma avaliação contínua e atualizada, que serve como acompanhamento para o professor poder gerenciar os dados de forma eficiente sobre a construção dos conhecimentos de cada aluno. Daí ele pode decidir se segue adiante ou reconstrói uma base que ficou deficiente. Um exemplo de plataforma adaptativa é a Khan Academy, que está vinculada a Fundação Lemann.

2.5 Ensino híbrido e a teoria da educação do Conhecimento Pedagógico de Conteúdo Tecnológico (teoria CPCT).

A utilização de tecnologias da comunicação no ensino não é novidade nem exclusividade do ensino híbrido, mas os avanços das tecnologias digitais podem ajudar no desempenho cognitivo do processo de ensino e aprendizagem, embora apenas acrescentar objetos digitais nas aulas não impliquem necessariamente uma melhoria do sistema educacional. Sabemos também que essas ferramentas não são a solução para todos os problemas que enfrentamos, e sobre isso Papert (2001, p.2) afirma que a “tecnologia não é a solução, é somente um instrumento. Logo, a tecnologia por si não implica em uma boa educação, mas a falta de tecnologia automaticamente implica em uma má educação”.

Assim, a teoria da aprendizagem do conhecimento pedagógico de conteúdo tecnológico, proposta em 2006 por Punya Mishra e Matthew Koehler e conhecida como teoria CPCT, em português, vem inferir suas contribuições. (Mishra; Koehler, 2006).

Resumidamente, os autores afirmam há existência de três conhecimentos básicos e necessários para o bom desempenho na aprendizagem são eles: conhecimentos pedagógicos, conhecimentos de conteúdo e conhecimentos tecnológicos. Eles ainda ressaltam a importância da compreensão de como os conhecimentos pedagógicos e de conteúdo irão se relacionar com a tecnologia. Evidencia que é possível ocorrer aprendizagem apenas com os conhecimentos de conteúdo e pedagógicos, e embora os conhecimentos tecnológicos sejam aliados que potencializam o aprendizado sem os outros dois não possui eficácia. Este método não é uma ferramenta de apoio ao professor, ele exige a compreensão e o domínio das técnicas pedagógicas na construção do conhecimento.

Os três conhecimentos do método CPCT são definidos por (Koehler; Mishra, 2005; Mishra; Koehler, 2006; Harris; Mishra; Koehler, 2009; Silva, 2009; Graham, 2011; Mazon, 2012). Da seguinte forma:

- O conhecimento pedagógico

É um conhecimento genérico originado de diferentes campos como Pedagogia, Didática, Currículo etc. que se aplica ao aprendizado do aluno, relacionado aos processos e práticas de ensino e aprendizagem que contemplam, entre outros, as finalidades, estratégias, objetivos e valores educacionais. Este tipo de conhecimento está agregado a todas as questões de aprendizagem, de gestão da sala de aula, de planejamento das aulas, envolvendo o desenvolvimento e execução do plano de aula e a avaliação dos alunos para efetivamente saber se os resultados foram positivos no que se refere à aprendizagem e a todo o processo de ensino.

- O conhecimento de conteúdo

É o conhecimento sobre o assunto a ser ensinado ou aprendido” (Mishra; Koehler, 2006, p. 1026). Shulman (1986) já havia indicado, ao analisá-lo individualmente, que este conhecimento vai além do próprio conteúdo da disciplina. Nele está incluído o conhecimento de conceitos utilizados na disciplina, métodos e procedimentos dentro de um determinado campo, os principais fatos, ideias e teorias, estruturas organizacionais, evidências, provas, práticas estabelecidas e abordagens para o desenvolvimento de tal assunto em uma determinada disciplina. Isso corresponde à quantidade e a organização que o professor possui desse conhecimento, bem como a compreensão do assunto a ser ensinado.

- O conhecimento tecnológico

Está em contínua evolução, tornando-o difícil de adquiri-lo e mantê-lo atualizado, em especial, para professores que não dispõem de tempo para estudar e refletir a respeito. Pelo mesmo motivo, qualquer definição de conhecimento da tecnologia corre o risco de estar ultrapassado devido ao tempo transcorrido da sua publicação. No entanto, existem maneiras de pensar e trabalhar com tecnologias independentemente de quais ferramentas e de quando elas surgiram (Harris; Mishra; Koehler, 2009).

Na figura 2.3 apresenta-se o modelo esquemático do método CPCT, que evidencia onde o professor deve chegar quando consegue aliar os três níveis de conhecimento.

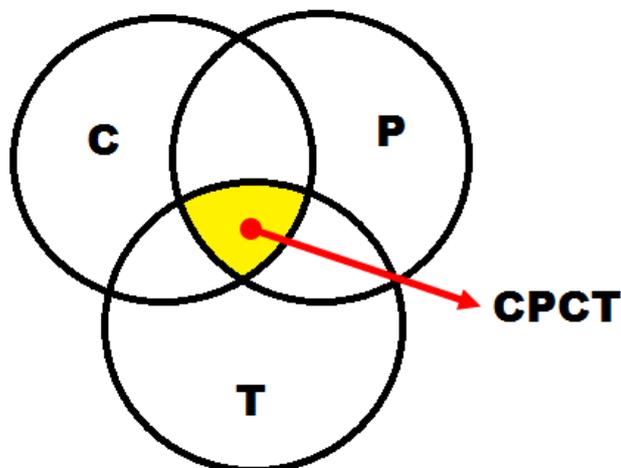


Figura 2.3 – Modelo esquemático do método CPCT. (Dudeney, Hockly, Pergrum, 2016).

O que se busca com o ensino híbrido é justamente o domínio por parte dos professores nos três níveis do CPCT, que é quando os saberes são construídos de forma significativa pelos alunos chegando ao ponto culminante do processo de ensino aprendizagem. Esses conhecimentos serão discutidos no próximo capítulo.

Capítulo 3

Conceituação das Teorias Físicas e Saberes Tecnológicos

Como já apresentado no capítulo 2, o ápice do processo de ensino-aprendizagem de acordo com a teoria CPCT é exatamente quando os três conhecimentos se interseccionam produzindo assim o que chamamos de conhecimento pedagógico de conteúdo. Apresentaremos aqui os conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e de conteúdos separadamente, especificando suas características e a forma que eles foram inseridos no decurso deste trabalho.

O conhecimento pedagógico contempla as técnicas e abordagens que os professores devem se valer para poder conseguir transmitir o conhecimento de conteúdo aos alunos. Na condição em que este trabalho foi realizado as teorias pedagógicas implementadas foram baseadas no construtivismo de David Ausubel. A inserção de metodologias ativas e o método da sala de aula invertida foram as apostas do ensino híbrido para que houvesse um melhor desenvolvimento cognitivo, de forma que o conhecimento de conteúdo pudesse ser construído com auxílio do conhecimento tecnológico.

3.1 O conhecimento tecnológico

Designa o conjunto de ferramentas, neste caso ferramentas virtuais, que serão manipuladas com finalidade de facilitação da integração entre o conhecimento pedagógico e o conhecimento de conteúdo. As ferramentas tecnológicas utilizadas no processo de ensino-aprendizagem deste trabalho foram: a plataforma *Google Classroom*, vídeos do *youtube* devidamente selecionados, *podcast*, *quiz online*, apostila em formato pdf e simuladores virtuais. A seguir serão descritas cada uma dessas ferramentas.

3.1.1 O *google classroom*

Trata-se de uma plataforma educacional lançada recentemente pela empresa Google. Nela é possível criar e receber tarefas e *feedbacks* e também correção automática de exercícios. O *classroom* tem grande potencial na implantação do sistema de ensino híbrido nas redes públicas de ensino, visto que ela é gratuita e possui a maior virtude dos ambientes de aprendizagem virtuais que é a convergências de mídias. No apêndice 1, há

um manual para iniciantes mostrando como devem ser os primeiros passos para a abertura de uma sala virtual e a identificação das principais ferramentas da plataforma.

3.1.2 O *youtube*

Vídeos são ótimas ferramentas de aprendizagem e o *youtube* reúne todos os tipos que vídeos que se possa imaginar sendo necessário uma seleção criteriosa para introdução dos mesmos em sala de aula. Para não correr riscos de utilizar vídeos de fontes dúbias a plataforma disponibiliza o *youtube.edu*, que exibe vídeos-aulas que passam por uma equipe de curadores da empresa certificando o conteúdo, não sendo necessário pesquisar os autores para garantir a procedências das informações.

3.1.3 O *podcast*

Professores que gostam muito de falar nem sempre tem em suas anotações todos os detalhes de suas falas e alguns alunos não conseguem acompanhar, seja na escrita e voz, o slide e voz, então pensando principalmente na parte de fundamentação teórica do conhecimento de conteúdo, foi elaborado o *podcast*, que é uma gravação de áudio disponibilizada para os alunos, através do *google classroom*, contendo o tema da aula inserindo conceitos bases necessários para desenvolver o conteúdo. Este tipo de arquivo pode ser facilmente ouvido através do celular criando a vantagem de possuir o conteúdo de forma portátil.

3.1.4 Apostila em formato pdf

A maioria dos alunos afirmam que preferem não utilizar os livros didáticos devido ao seu peso. No entanto, praticamente todos alunos carregam um celular que possui diversos recursos de multimídias. Recursos como fichas de exercícios impressas também é improvável na escola por conta do custo, então uma forma barata e eficiente de trabalhar o que realmente se deseja é uma apostila virtual, o formato PDF garante boa visualização além de ser um arquivo leve que não compromete o desempenho dos aparelhos celulares.

3.1.5 O *quiz online*

É um desporto mental, uma maneira lúdica de avaliar os conhecimentos em um determinado assunto com uma sequência de perguntas na forma de jogo. Nele, ao término da sequência de perguntas é dada uma pontuação, fornecendo um *ranking* dos participantes que obtiveram melhores resultados. Compatível com sistema operacional

android é possível jogar através do celular, é fácil de fazer e de forma gratuita, basta seguir as instruções do apêndice 2.

3.1.6 Simuladores virtuais

A abstração da física faz com que diversos alunos não despertem interesse pela disciplina. Despertar o interesse e fazê-los compreender visualizando uma representação do fenômeno é uma oportunidade incomum ao cotidiano das salas de aulas na rede pública de ensino. A dificuldade de realizar experimentos com temas de física moderna também é grande, e é nesse contexto que os simuladores virtuais, igualmente aos vídeos do youtube, são fortes aliados para a compreensão dos conceitos físicos com ajuda das multimídias. De forma gratuita, no site do Phet, https://phet.colorado.edu/pt_BR/, é possível encontrar simulações de experimentos, inclusive de física moderna.

3.2 O conhecimento de conteúdo

Um dos documentos norteadores da educação brasileira são os Parâmetros Curriculares Nacionais, (PCNs). Os PCNs voltados a ciências da natureza e suas tecnologias, privilegiou seis temas estruturadores com abrangência para organizar o ensino de Física:

1. Movimentos: variações e conservações
2. Calor, ambiente e usos de energia
3. Som, imagem e informação
4. Equipamentos elétricos e telecomunicações
5. Matéria e radiação
6. Universo, Terra e vida

Os temas radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico fazem parte do tema estruturador 5, matéria e radiação, que comumente denominamos de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Este tema estruturador nas escolas públicas raramente é desenvolvido, conforme Monteiro, Nardi e Bastos Filho:

“Diante das várias proposições para que a FMC seja introduzida na educação básica, como também a partir da constatação de que alguns grupos de professores brasileiros não sendo influenciados pela proposta, apesar de denotarem um certo entusiasmo em relação a ela, na presente pesquisa

analisaremos os discursos de um grupo de professores de Física de um município da Região Nordeste brasileira no tocante à mencionada proposta. Constatamos que nenhum deles contempla a FMC em suas aulas, apesar de acolherem a proposição”. (Monteiro, Bastos Filho, 2009).

A escolha por este tema na construção da apostila e aplicação do ensino híbrido foi tomada devido à escassez de materiais no nível de ensino médio, e por ser costumeiramente não apresentados aos alunos.

Apesar das várias sugestões para se introduzir o ensino de tópicos da Física Moderna e Contemporânea na educação básica, é também consenso que ainda se necessita de muitas pesquisas em relação às abordagens e enfoques a serem desenvolvidos, principalmente perante as dificuldades apresentadas pelos professores (Solbes et al. 2001).

Uma dessas dificuldades são os livros didáticos cujo os temas quando são mencionados, são bastantes simplórios ou incluídos como apêndices. Como por exemplo no livro: Os Fundamentos da Física 3 de Ramalho, Nicolau e Toledo, editora Moderna 7ª edição. O capítulo 17, tenta inserir o conteúdo de Física Moderna. Mas apenas trata da radiação eletromagnética e cita o efeito fotoelétrico como uma curiosidade ou apêndice. Este trabalho então, apresenta uma revisão de literatura com conteúdo em nível compatível com o exigido. Mas todas as referências adotadas serviram também como bases para a construção da apostila, anexo V, sendo que esta sofreu a devida transposição didática para adequar-se ao ensino médio.

3.2.1 Radiação do corpo negro

Após a revolução industrial nos meados do século XIX, a termodinâmica estava muito bem desenvolvida e os estudos dos fenômenos térmicos estavam em alta, assim como a teoria eletromagnética de Maxwell praticamente finalizada. Parecia que a Física estava colocando as últimas peças no quebra cabeça. Mesmo assim, existiam dois problemas que os cientistas não conseguiam explicar: a incandescência de um corpo aquecido e a emissão de elétrons por um metal irradiado com luz.

No final do século o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) interessado no estudo da radiação solar, propôs alguns postulados que serviram para o desenvolvimento

no estudo da energia radiante, contribuindo assim para o desenvolvimento da resolução da primeira problemática. Kirchhoff imaginou um corpo “ideal” para estudar a radiação eletromagnética e o chamou de corpo negro.

A melhor idealização, modelo teórico, para um corpo negro é um corpo com uma cavidade, oco, com um pequeno orifício por onde incide a radiação que é completamente absorvida após sucessivas reflexões no seu interior. Esta muitas vezes é chamada de radiação de cavidade, mas lembre-se que, é o espectro emitido pelo buraco da cavidade e que é especificado em termos do fluxo de energia $R_T(\nu)$. Segundo Resnick e Eisberg o corpo negro pode ser modelado por:

“Uma cavidade em um corpo ligada ao exterior por um pequeno orifício. A radiação incidente sobre o orifício é completamente absorvida após sucessivas reflexões sobre a superfície interna da cavidade. O orifício absorve como um corpo negro. No processo inverso, no qual a radiação que deixa o orifício é constituída a partir de emissões da superfície interna, o orifício emite como se fosse um corpo negro”. (Resnick; Eisberg, 1979)

Ainda de acordo com os autores: “é mais útil, entretanto especificar o espectro da radiação dentro da cavidade, dita radiação de cavidade, em termos de uma densidade de energia, $\rho_T(\nu)$, que é definida como a energia contida em um volume unitário da cavidade a temperatura T no intervalo de frequência de ν a $\nu + d\nu$.”

Embora atribui-se inicialmente o termo negro, o corpo necessariamente não necessita ter esta cor. Os corpos reais podem ser bons e maus emissores e absorvedores, se aproximando de corpos negros. Uma estrela por exemplo, não é um corpo negro, pois sua camada mais externa a fotosfera não está em equilíbrio termodinâmico com o seu núcleo. Mas o conceito de corpo negro é útil para determinação da temperatura efetiva das mesmas, tomando a fotosfera como base para o cálculo. Da mesma forma, ajudou a construir o pirômetro óptico, instrumento utilizado para medir temperatura de fornos industriais, sendo assim, o conceito do corpo negro foi bem aceito e utilizado para a investigação do problema em aberto no final do século XIX.

3.2.2 A Lei do deslocamento de Wien

A Lei de Wien foi estabelecida em 1897, experimentalmente. Ela trata da intensidade da radiação em função do comprimento de onda. As isotermas de distribuição espectral,

curva de intensidade de radiação em função do comprimento de onda a uma temperatura fixa, possuem um pico para cada temperatura. À medida que se altera a temperatura o pico se desloca fornecendo um comprimento de onda máximo, $\lambda_{m\acute{a}x}$, como mostra a figura 3.1.

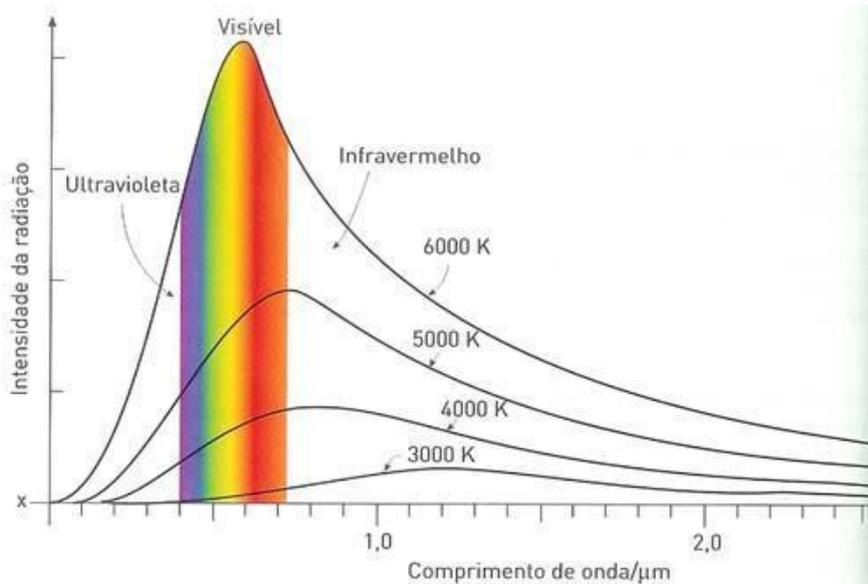


Figura 3.1 – Ilustração da Lei do Deslocamento de Wien. (Silva, 2015)

A relação entre o comprimento de onda máximo e a temperatura, obtida por Wien, é dada por:

$$\lambda_{m\acute{a}x}.T = 0,0028976 \tag{3.1}$$

Esta lei foi obtida após Paschen constatar que a densidade espectral de energia da radiação do corpo negro, em função do comprimento de onda, para várias temperaturas comportava-se como na figura 3.1 e com base nos trabalhos de Lummer & Pringsheim e Mendenhall & Saunders, conforme Caruso e Oguri, 2016.

3.2.3 A Lei de Stefan-Boltzmann

Ao considerar o conceito de corpo negro de Kirchhoff, o físico Josef Stefan (1835-1893) analisando dados experimentais, desenvolveu empiricamente uma lei para a radiação espectral em função da temperatura. A primeira medida experimental de $R_T(v)$, foi realizada por John Tyndall em 1865, mas foi em 1879 que Stefan conseguiu deduzir a

equação a partir dos resultados dos experimentos de Tyndall, aquecendo um fio de platina e verificando sua relação com a temperatura, T , a quarta potência. Desta maneira, enunciou que: “a potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura”.

$$R_T(\nu) = \sigma T^4 \quad (3.2)$$

Após alguns anos, Ludwig Boltzmann, que era aluno de Stefan, conseguiu demonstrar a equação através de argumentos termodinâmicos. Por conseguinte, ficou conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann e a constante σ nomeada em homenagem aos dois como constante de Stefan-Boltzmann, cujo seu valor vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

Ainda neste contexto, devemos acrescentar o conceito de emissividade (e), que em um corpo qualquer é uma grandeza adimensional, tal que $0 < e < 1$. Assim a emissividade de um corpo negro $e_{\text{cn}} = 1$, pois é um emissor perfeito. Caso fosse um absorvedor perfeito a emissividade seria nula. Quando consideramos a emissividade de um corpo para a potência total irradiada a expressão fica:

$$R_T(\nu) = e\sigma T^4 \quad (3.3)$$

A emissividade mostra que uns corpos são capazes de irradiar mais que outros devido a sua natureza.

3.2.4 A Teoria Clássica

Descrever quantitativamente a radiação dos espectros foi uma árdua tarefa para os físicos no final do século XIX, pois não foi fácil conseguir uma teoria que explicasse corretamente a curva espectral da radiação. Na época as teorias do Eletromagnetismo, Termodinâmica e a Teoria Cinética dos Gases, que posteriormente tornou-se a Mecânica Estatística, estavam no ápice. Utilizando essa física, dita clássica, juntamente com a ideia de corpo negro que o físico inglês John William Strutt Rayleigh (1842-1919) propôs em junho de 1900 um modelo para explicar a radiação. Cinco anos mais tarde o físico James Hopwood Jeans (1877-1946) viria a corrigir um pequeno erro cometido por Rayleigh nessa Lei, e após isso ficou conhecida como Lei de Rayleigh-Jeans.

Em seu modelo, os átomos da caixa possuem uma agitação térmica, que ficam vibrando o tempo todo, ao redor de uma posição de equilíbrio, como osciladores (unidimensionais) que emitem radiação eletromagnética. Cada átomo emite uma onda individual que contribui com energia média igual a, $E = kT$, para a radiação na caixa.

Considerando inicialmente uma caixa cúbica, como na figura 3.2, em que queremos determinar a densidade de energia em função da frequência da radiação incidente na caixa, temos que a densidade de energia $\rho(\nu)$ é o número de ondas estacionárias multiplicadas pela energia dividido pelo volume da cavidade. A seguir serão desenvolvidos vários passos com a finalidade de chegar a expressão para a densidade de energia.

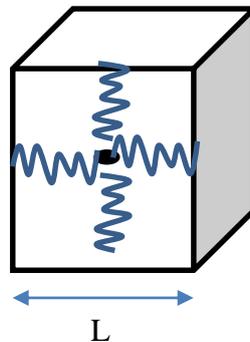


Figura 3.2 – Caixa cúbica com uma pequena cavidade e osciladores em seu interior.

Temos a equação de onda para ondas eletromagnéticas:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad (3.4)$$

onde E é o campo elétrico e c é a velocidade da luz no vácuo. Esta equação será inicialmente resolvida para uma dimensão

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}. \quad (3.5)$$

Utilizando o método de separação de variáveis, temos:

$$E(x, t) = X(x) \cdot T(t), \quad (3.6)$$

onde $X(x)$ e $T(t)$ são as funções referentes as partes espacial e temporal, respectivamente.

Aplicando em (3.5)

$$\frac{\partial^2 X(x).T(t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 X(x).T(t)}{\partial t^2}, \quad (3.7)$$

$$\frac{T(t).\partial^2 X(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{X(x).\partial^2 T(t)}{\partial t^2}, \quad (3.8)$$

$$\frac{c^2 \partial^2 X(x)}{X(x).\partial x^2} = \frac{\partial^2 T(t)}{T(t).\partial t^2} = -\omega^2, \quad (3.9)$$

onde ω é a frequência angular.

$$\frac{\partial^2 T(t)}{\partial t^2} + \omega^2 T(t) = 0. \quad (3.10)$$

Analogamente,

$$k = \frac{\omega}{c}, \quad (3.11)$$

sendo k o vetor de onda

$$\frac{c^2 \partial^2 X(x)}{X(x).\partial x^2} = -k^2 c^2, \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} = -k^2 X(x), \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + k^2 X(x) = 0, \quad (3.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + k^2 X(x) = 0, \\ \frac{\partial^2 T(t)}{\partial t^2} + \omega^2 T(t) = 0. \end{array} \right. \quad (3.15)$$

As soluções para as equações em (3.15) são:

$$T(t) = A \cdot \text{sen}(\omega t) + B \cdot \text{cos}(\omega t) , \quad (3.16)$$

$$X(x) = A' \cdot \text{sen}(kx) + B' \cdot \text{cos}(kx) , \quad (3.17)$$

Sendo A e B constantes arbitrárias.

Aplicando a primeira condição de contorno, onde as ondas devem ser estacionárias, como representado na figura 3.3.

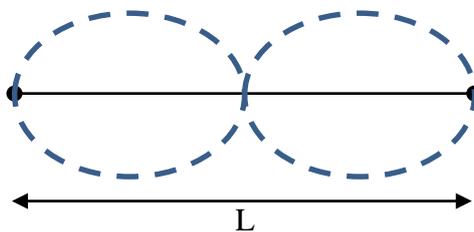


Figura 3.3 – Representação esquemática de ondas estacionárias.

$$x = 0 \rightarrow X(0) = 0 ,$$

Primeira
condição de
contorno

$$X(0) = A' \cdot \text{sen}(k \cdot 0) + B' \cdot \text{cos}(k \cdot 0) , \quad (3.18)$$

$$X(0) = B' = 0 , \quad (3.19)$$

$$t = 0 \rightarrow T(0) = 0 ,$$

Primeira
condição de
contorno

$$T(0) = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot 0) + B \cdot \text{cos}(\omega \cdot 0) , \quad (3.20)$$

$$T(0) = B = 0 . \quad (3.21)$$

Logo:

$$T(t) = A . \text{sen}(\omega t) , \quad (3.22)$$

$$X(x) = A' . \text{sen}(kx) . \quad (3.23)$$

Da equação (3.5) temos,

$$E(x,t) = A' . \text{sen}(kx) . A . \text{sen}(\omega t) , \quad (3.24)$$

$$E(x,t) = A' . A . \text{sen}(kx) . \text{sen}(\omega t) . \quad (3.25)$$

Chamando,

$$E_0 = A' . A , \quad (3.26)$$

e usando,

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda} , \quad (3.27)$$

Sendo ν a frequência e λ o comprimento de onda, chegamos a:

$$E(x,t) = E_0 . \text{sen}\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) . \text{sen}(kx) . \quad (3.28)$$

Da segunda condição de contorno,

$$x = L \rightarrow E(L,t) = 0$$

Segunda condição de contorno.

$$E(L,t) = E_0 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) \cdot \text{sen}(kL) = 0 , \quad (3.29)$$

$$E_0 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) \cdot \text{sen}(kL) = 0 . \quad (3.30)$$

Diferente de zero

Logo,

$$\text{sen}(kL) = 0 , \quad (3.31)$$

$$kL = n\pi , \quad (3.32)$$

$$k = \frac{n\pi}{L} , \quad (3.33)$$

onde n pode assumir os valores n = 1, 2, 3...

Conseqüentemente a equação para uma dimensão fica:

$$E(x,t) = E_0 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right). \quad (3.34)$$

Analogamente para as três dimensões temos:

$$E(x,y,z,t) = E_0^3 \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi y}{L}\right) \cdot \text{sen}\left(\frac{n\pi z}{L}\right). \quad (3.35)$$

Substituindo a solução tridimensional na equação (3.4) e operando as segundas derivadas encontramos a relação:

$$\begin{aligned}
& - \left(\frac{n_1 \pi}{L} \right)^2 \cdot E(x, y, z, t) - \left(\frac{n_2 \pi}{L} \right)^2 \cdot E(x, y, z, t) - \left(\frac{n_3 \pi}{L} \right)^2 \cdot E(x, y, z, t) = \\
& - \frac{1}{c^2} \cdot \left(\frac{2\pi c}{\lambda} \right) \cdot E(x, y, z, t), \tag{3.36}
\end{aligned}$$

$$\left(\frac{n_1 \pi}{L} \right)^2 + \left(\frac{n_2 \pi}{L} \right)^2 + \left(\frac{n_3 \pi}{L} \right)^2 = \frac{1}{c^2} \cdot \left(\frac{2\pi c}{\lambda} \right)^2, \tag{3.37}$$

$$\left(\frac{\pi^2}{L^2} \right) \cdot (n_1^2 + n_2^2 + n_3^2) = \frac{1}{c^2} \cdot \left(\frac{4\pi^2 c^2}{\lambda^2} \right), \tag{3.38}$$

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4\pi^2 L^2}{\pi^2 \lambda^2}, \tag{3.39}$$

$$n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4L^2}{\lambda^2}, \tag{3.40}$$

Uma aproximação que pode ser feita para contarmos com todas as combinações de valores inteiros de n 's, e tratar o número de combinações como o volume da “rede” de valores n , num espaço n .

Podemos perceber que a equação (3.40) é semelhante a equação da esfera no espaço n , com n inteiro, em que:

$$R^2 = n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 = \frac{4L^2}{\lambda^2}. \tag{3.41}$$

Com R não contínuo.

O volume no espaço dos n 's, é dado por:

$$V = \frac{4\pi R^3}{3} = \frac{4\pi(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)^{3/2}}{3}. \tag{3.42}$$

Para utilizarmos apenas os valores positivos de n devemos tomar $1/8$ do volume. Mas também a onda pode estar polarizada em dois planos perpendiculares. Logo o número de modos é:

$$N = 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot \frac{4\pi(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)^{3/2}}{3}, \quad (3.43)$$

O fator multiplicativo 2 é devido a polarização.

$$N = \frac{\pi(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)^{3/2}}{3}, \quad (3.44)$$

$$N(\lambda) = \frac{\pi}{3} \cdot \left(\frac{4L^2}{\lambda^2}\right)^{3/2}, \quad (3.45)$$

$$N(\lambda) = \frac{8}{3} \cdot \frac{\pi L^3}{\lambda^3}. \quad (3.46)$$

Assim a distribuição do número de modos no comprimento de onda fica:

$$\frac{dN}{d\lambda} = -\frac{8}{3} \cdot \frac{\pi L^3}{\lambda^4} \cdot 3 = -\frac{8\pi L^3}{\lambda^4}. \quad (3.47)$$

O sinal negativo indica que o número de modos diminui com o aumento do comprimento de onda.

Dividindo a equação (3.47) no volume do cubo da figura 3.2, temos:

$$\frac{dN}{d\lambda} \cdot \frac{1}{L^3} = -\frac{8\pi}{\lambda^4}. \quad (3.48)$$

Seja μ a densidade de energia dada por:

$$\mu = \frac{\text{Energia}}{\text{Volume}} = \frac{E}{L^3}, \quad (3.49)$$

temos então:

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = \frac{1}{L^3} \cdot \frac{dE}{d\lambda}. \quad (3.50)$$

A energia média dos N modos para uma temperatura fixa é dada por:

$$E(\lambda) = N(\lambda)kT, \quad (3.51)$$

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = \frac{1}{L^3} \cdot \frac{dN}{d\lambda} \cdot kT, \quad (3.52)$$

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = -kT \cdot \frac{8\pi}{\lambda^4} = -\frac{8\pi kT}{\lambda^4}, \quad (3.53)$$

fazendo a mudança de variáveis, queremos:

$$\frac{d\mu}{d\nu} = \frac{d\mu}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{d\nu} = \frac{d\mu}{d\lambda} \cdot \frac{d\left(\frac{c}{\nu}\right)}{d\nu}, \quad (3.54)$$

onde $c = \lambda \cdot \nu$

$$\frac{d\mu}{d\nu} = \frac{d\mu}{d\lambda} \cdot \frac{-c}{\nu^2} = -\frac{8\pi kT}{\lambda^4} \cdot \frac{-c}{\nu^2} = \frac{8\pi kT c \nu^4}{\nu^2 c^4}, \quad (3.55)$$

daí conclui-se a Lei de Rayleigh-Jeans:

$$\rho_T(\nu) = \frac{d\mu}{d\nu} = \frac{8\pi kT \nu^2}{c^3}. \quad (3.56)$$

O trabalho de Rayleigh após publicação recebeu uma pequena contribuição de James Jeans (1877-1946), em maio de 1905, este introduziu o fator de 1/8 no cálculo de $N(\nu)d\nu$; que havia sido esquecido por Rayleigh. Por este motivo a Lei recebeu o nome dos dois cientistas. (Bassalo, 1996).

Através da figura 3.4 podemos ver a discrepância da lei de Rayleigh-Jeans e a curva dos dados experimentais a partir de um determinado valor de frequência, observamos que, a função “explode” e diverge muito dos resultados obtidos.

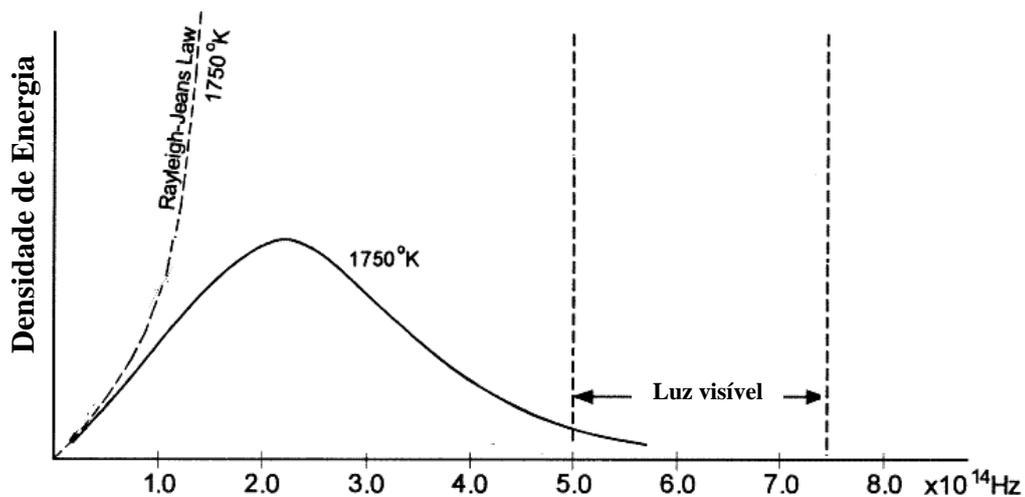


Figura 3.4 – Esquema da lei de Rayleigh-Jeans em comparação aos dados experimentais. (Guimarães, 2014).

Com frequências baixas (comprimento de ondas longo) a teoria clássica condiz com os dados experimentais. Mas na região de frequência em que inicia esta divergência é na faixa do ultravioleta, fato que levou o físico Paul Ehrenfest a chamar essa situação de “catástrofe do ultravioleta”. (Nussenzveig, 1998).

$$\begin{aligned} \nu \rightarrow 0 \quad \rho_T(\nu) &\rightarrow 0 & (3.57) \\ \nu \rightarrow \infty \quad \rho_T(\nu) &\rightarrow \infty \quad (\text{deveria ir a zero}). \end{aligned}$$

As teorias clássicas não funcionam para o caso do problema de Kirchhoff da radiação de corpo negro. Então apenas uma nova teoria física pode explicar esse fenômeno.

3.2.5 A teoria quântica de Planck

Em 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck divulga seu trabalho sobre a distribuição espectral de radiação, que chocou o mundo acadêmico numa reunião da Sociedade Alemã de Física, em Berlim e trouxe novas perspectivas para a Física. Trabalho este que foi reconhecido alguns anos mais tarde com um Prêmio Nobel de Física em 1918. Planck viveu um determinado conflito interno, pois não esperava que sua teoria fosse uma contradição a teoria clássica, como podemos ler em um trecho de uma carta que o mesmo escreveu a R.W. Wood em 1931:

“Em poucas palavras posso caracterizar todo procedimento como um ato de desespero, desde que, por natureza, eu sou sossegado e contrário a aventuras duvidosas. Contudo, eu já tinha lutado por seis anos (desde 1894) com o problema do equilíbrio entre radiação e matéria sem ter alcançado nenhum resultado positivo. Eu estava ciente que este problema era de importância fundamental para a física, e eu reconhecia a fórmula que descrevia a distribuição de energia no espectro normal (corpo negro); portanto, uma interpretação teórica tinha que ser fornecida a todo custo, qualquer que fosse o preço, por mais alto que ele fosse.”(Max Planck, 1950).

A palavra *quantum* vem do latim que significa “pacote”. Essa nomenclatura foi dada por Planck quando postulou que a energia só era absorvida ou liberada em pacotes com energia. O plural de *quantum* é *quanta*. O nome Teoria quântica veio a ser substituído por Mecânica Quântica posteriormente.

3.2.6 As ideias de Planck

Planck considerou que a radiação eletromagnética no interior da cavidade estava em equilíbrio térmico com as paredes da cavidade que por sua vez eram compostas de osciladores harmônicos que compensavam a perda de energia com a absorção da energia da radiação.

Em sua teoria, cada oscilador na cavidade de um corpo negro pode emitir ou absorver energia somente em quantidades que são múltiplos inteiros de uma certa quantidade básica de energia:

$$E_n = n\varepsilon \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.58)$$

Sendo que n é o número de quanta e ε a energia de cada um quanta.

Além disso, a energia de cada um dos quanta é determinada pela frequência (energia diretamente proporcional a frequência).

$$E = h\nu, \tag{3.59}$$

onde, h é a constante da proporcionalidade, conhecida como constante de Planck, sendo $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s ou $h = 4,14 \cdot 10^{-15}$ eV.s. Assim, a equação para a radiação de cavidade toma a forma, $E_n = nh\nu$.

Como a constante de proporcionalidade possui unidade de energia multiplicada por tempo, indica que ela tem dimensão de ação como fora apresentada tomando como base o princípio de Lagrange. (Mantovani, 2015).

A diferença entre o cálculo de Planck e o cálculo clássico usando as estatísticas de Maxwell-Boltzmann é que a energia de um oscilador a um determinado comprimento de onda ou frequência já não é um contínuo, mas sim, uma variável discreta. O valor da energia média deveria depender então da frequência da radiação ao invés de ser igual a kT para todos os comprimentos de onda confinados na cavidade, como previsto pela teoria clássica.

Vejamos como ele usou seus postulados para determinar a lei que mudou o curso da física no início do século XX.

A hipótese considerada por Planck foi uma violação da lei equipartição de energia. Então ele partiu da distribuição de Boltzmann:

$$P(\varepsilon) = \frac{e^{-\varepsilon/kT}}{kT}, \tag{3.60}$$

Sendo, $P(\varepsilon)$ a probabilidade de encontrar um dado ente de um sistema com energia entre ε e $d\varepsilon$.

O valor médio $\langle \varepsilon \rangle$ das energias é dado como:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon P(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon}. \tag{3.61}$$

Para o caso clássico $\bar{\varepsilon} = kT$

Planck postulou que a energia só pode assumir valores discretos conforme as equações (3.58) e (3.59).

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{nh\nu}{kT} \cdot e^{-nh\nu/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{kT} \cdot e^{-nh\nu/kT}}, \tag{3.62}$$

chamando $\alpha = \frac{h\nu}{kT}$,

$$\bar{\varepsilon} = \frac{kT \sum_{n=0}^{\infty} n \alpha e^{-n\alpha}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha}} . \quad (3.63)$$

A expressão acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$-\alpha \frac{d}{d\alpha} \left(\ln \sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha} \right) \quad (3.64)$$

$$= \frac{-\alpha \frac{d}{d\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha}} ,$$

$$\frac{-\alpha \sum_{n=0}^{\infty} \frac{d}{d\alpha} e^{-n\alpha}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha}} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \alpha n e^{-n\alpha}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha}} , \quad (3.65)$$

logo,

$$\bar{\varepsilon} = kT \left(-\alpha \frac{d}{d\alpha} \ln \sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha} \right) . \quad (3.66)$$

Retomando $\alpha = \frac{h\nu}{kT}$,

$$\bar{\varepsilon} = -h\nu \frac{d}{d\alpha} \ln \sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha} , \quad (3.67)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\alpha} = (1 - e^{-\alpha})^{-1} , \quad (3.68)$$

$$\bar{\varepsilon} = -h\nu \frac{d}{d\alpha} \ln(1 - e^{-\alpha})^{-1} , \quad (3.69)$$

$$\bar{\varepsilon} = h\nu \frac{d}{d\alpha} \ln(1 - e^{-\alpha}) , \quad (3.70)$$

$$\bar{\varepsilon} = h\nu \cdot \frac{1}{1-e^{-\alpha}} \cdot e^{-\alpha} \quad , \quad (3.71)$$

$$\bar{\varepsilon} = h\nu \cdot \frac{1}{\frac{1-e^{-\alpha}}{e^{-\alpha} \cdot e^{-\alpha}}} = \frac{h\nu}{e^{-\alpha}-1} \quad , \quad (3.72)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} \quad . \quad (3.73)$$

Para Rayleigh-Jeans tínhamos $\bar{\varepsilon} = kT$, e a densidade de energia apresentada como,

$$\rho_T(\nu) = \frac{d\mu}{d\nu} = \frac{8\pi kT\nu^2}{c^3} \quad (3.74)$$

Usando a energia média de Planck temos:

$$\rho_T(\nu) = \frac{d\mu}{d\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} \quad (3.75)$$

A Lei de Planck se ajusta perfeitamente sobre a curva experimental e resolve o problema da catástrofe do ultravioleta.

A partir dessa lei é possível deduzir a lei de Rayleigh-Jeans e as leis que anteriormente foram deduzidas de forma empírica como: a Lei empírica de Wien, a Lei de Stefan Boltzmann e a Lei do deslocamento de Wien.

3.2.7 A Lei empírica de Wien

Além da Lei do deslocamento dos picos, Wien também desenvolveu uma Lei que descreve a intensidade da radiação em função da frequência, assim como Rayleigh e Jeans fizeram, esta lei por algum tempo ficou sendo creditada como a solução do problema do corpo negro devido aos resultados para altas frequências se ajustarem bem aos resultados experimentais. A equação que Wien obteve foi:

$$\rho_T(\nu) = a \cdot \nu^3 \cdot e^{-b\nu} \quad , \quad (3.76)$$

sendo, $a = \frac{8\pi h}{c^3}$ e $b = \frac{h}{kT}$.

Essa lei possuía um limite de validade para altas frequências, que era o problema inverso da lei de Rayleigh-Jeans que se adequava bem aos dados experimentais em baixas frequências e como podemos ver na figura 3.5.

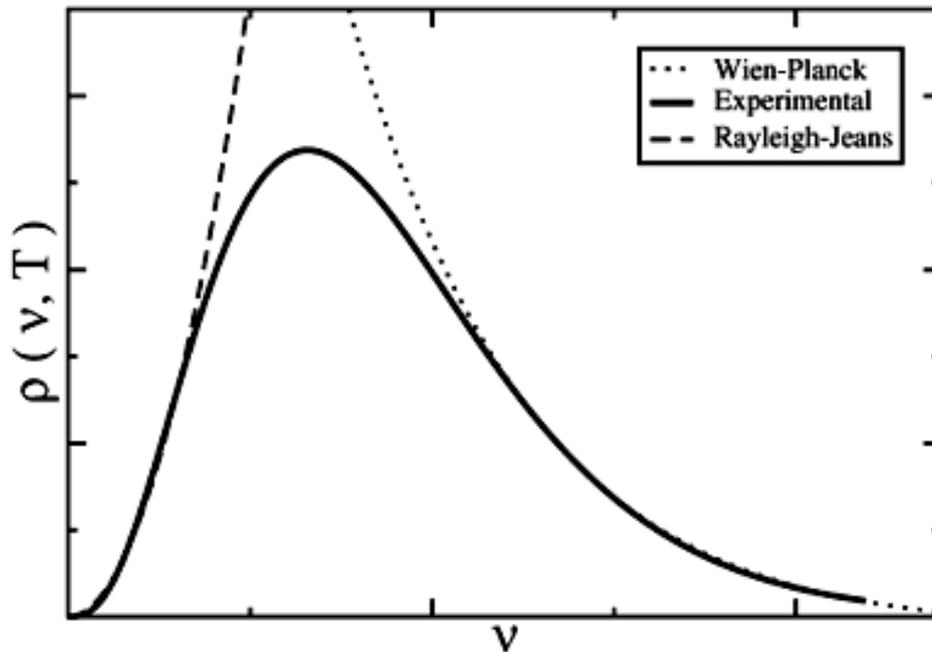


Figura 3.5 - Representação esquemática da forma da curva experimental para a densidade de energia da radiação do corpo negro $\rho(\nu, T)$ para um T fixo e as respectivas aproximações de Wien-Planck (altas frequências) e Rayleigh-Jeans (baixas frequências). (Dahmen, 2015).

3.3.8 As conexões da Lei de Planck com as Leis de Rayleigh-Jeans e Wien

Tomando o limite da lei de Planck para frequências muito altas temos;

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (3.77)$$

para altas frequência $\nu \rightarrow \infty$ que implica em

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \rightarrow \infty \quad e \quad \rho_T(\nu) = 0. \quad (3.78)$$

A equação assume a forma da lei de Wien:

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h}{c^3} \cdot \nu^3 \cdot e^{-\frac{h\nu}{kT}}. \quad (3.79)$$

Tomando como $a = \frac{8\pi h}{c^3}$ e $b = \frac{h}{kT}$,

$$\rho_T(\nu) = a \cdot \nu^3 \cdot e^{-b\nu} \text{ Lei empírica de Wien} \quad (3.80)$$

Que é exatamente a equação (3.76).

Aplicando o limite para baixas frequências na lei de Planck, temos que:

Para $\frac{h\nu}{kT} \ll 1$, o que implica em $e^{\frac{h\nu}{kT}} \cong 1 + \frac{h\nu}{kT}$, assim:

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (3.81)$$

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{h\nu}{kT} - 1}, \quad (3.82)$$

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3}. \quad (3.83)$$

Que recai na lei de Rayleigh-Jeans, equação (3.56).

Os limites assintóticos da lei de Planck correspondem as leis de Rayleigh-Jeans para baixas frequências e de Wien para altas frequências.

3.2.9 A lei de Stefan-Boltzmann

A seguir vamos encontrar a relação entre a densidade de energia $\rho_T(\nu)$ e a radiância, R_T , que pode ser escrita como (Resnick; Eisberg, 1979):

$$R_T = \frac{c\mu}{4}, \quad (3.84)$$

ou,

$$R_T = \frac{c\rho_T(\nu)}{4}, \quad (3.85)$$

de posse dessa relação, fazemos a substituição da equação (3.75) na (3.85), e tomando as formas infinitesimais, fica da seguinte maneira:

$$R_T(\nu)d\nu = \frac{c}{4} \cdot \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{kT}-1} d\nu, \quad (3.86)$$

integrando-se a função para todas as frequências, temos:

$$R_T = \int_0^\infty \frac{c}{4} \cdot \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{kT}-1} d\nu, \quad (3.87)$$

$$R_T = \int_0^\infty \frac{2\pi\nu^3}{c^2} \cdot \frac{d\nu}{e^{kT}-1}, \quad (3.88)$$

fazendo as substituições, $q = \frac{h\nu}{kT}$ e $dq = \frac{h d\nu}{kT}$, temos:

$$R_T = \int_0^\infty \frac{2\pi h}{c^2} \left(\frac{kTq}{h}\right)^3 \cdot \frac{kTdq}{h(e^q-1)}, \quad (3.89)$$

$$R_T = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^\infty \frac{q^3 dq}{(e^q-1)}, \quad (3.90)$$

o resultado da integral é conhecido $\int_0^\infty \frac{q^3 dq}{(e^q-1)} = \frac{\pi^4}{15}$, (Oliveira, Saraiva, 2014), que resulta em:

$$R_T = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \cdot \frac{\pi^4}{15}, \quad (3.91)$$

$$R_T = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \cdot \frac{T^4}{1}, \quad (3.92)$$

chamando de $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$, temos:

$$R_T = \sigma T^4 \quad (3.93)$$

Podemos também deduzir o valor da constante de Stefan-Boltzmann já que ela depende de outras constantes agora conhecidas:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}, \quad (3.94)$$

$$\sigma = 5,67 W m^{-2} K^{-4}. \quad (3.95)$$

3.2.10 A lei do deslocamento de Wien

Ao considerarmos a curva isoterma dada pela lei de Planck o pico máximo da curva relaciona-se com um valor de comprimento de onda que torna essa função máxima, conforme a figura 3.6.

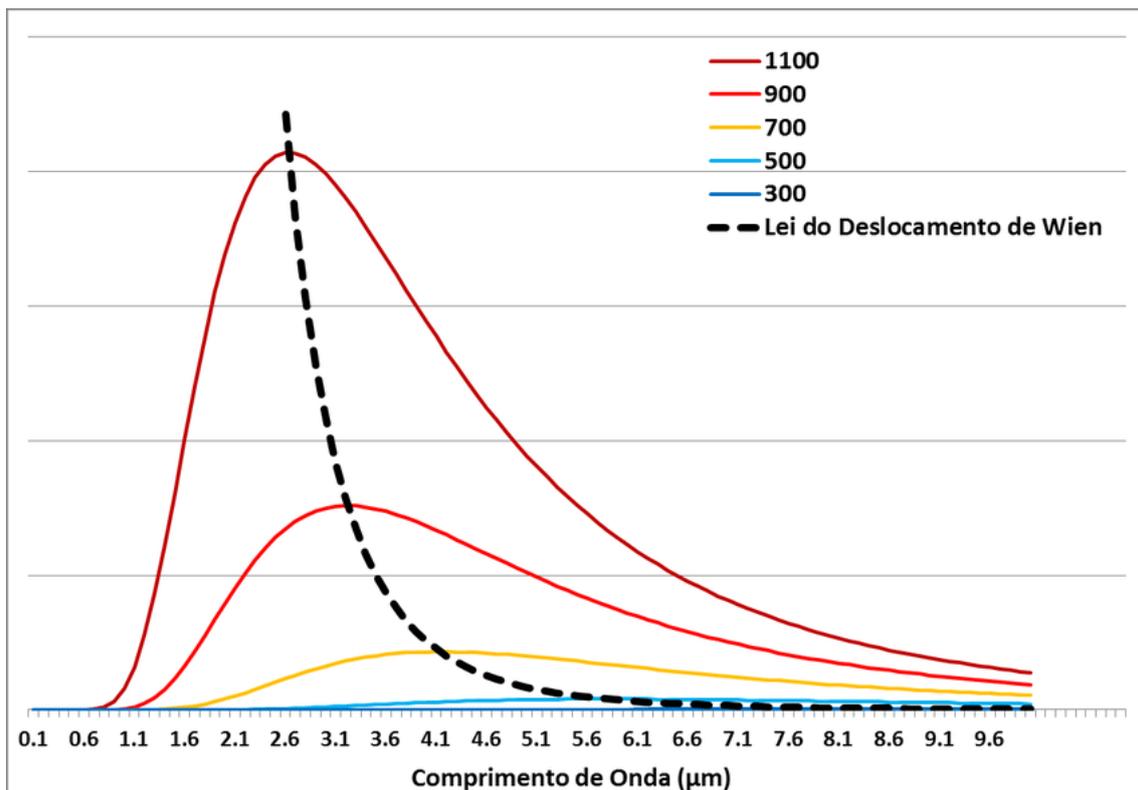


Figura 3.6 – Representação gráfica dos deslocamentos dos máximos das funções com temperaturas fixas diferentes. (Mataveli, Oliveira, Pereira, Moraes, 2013).

Cada temperatura descreve uma curva de energia em função do comprimento de onda, na qual seu pico se desloca para a esquerda, à medida que, a temperatura aumenta.

Wien conseguiu empiricamente inferir uma equação que relaciona o comprimento de onda com a temperatura da curva, agora de posse da lei de Planck, podemos deduzir a equação matematicamente.

Ao fazer mudança de variável de ν para λ .

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (3.96)$$

$$\frac{d\nu}{d\lambda} = \frac{-c}{\lambda^2}, \quad (3.97)$$

$$d\nu = \frac{-c}{\lambda^2} d\lambda. \quad (3.98)$$

tomemos a condição de que a derivada da função no seu ponto máximo é nula.

$$\frac{d\rho_T(\nu)}{d\lambda} = 0. \quad (3.99)$$

Aplicamos agora na equação de Planck:

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi hc^3}{c^3 \lambda^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (3.100)$$

E usando a equação (3.99), temos:

$$\frac{d\rho_T(\nu)}{d\lambda} = \frac{8\pi hc^3}{c^3 \lambda^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \cdot \frac{-c}{\lambda^2} d\lambda, \quad (3.101)$$

$$\frac{d\rho_T(\lambda)}{d\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{G}{\lambda kT}} - 1} d\lambda, \quad (3.102)$$

Sendo $G = h\nu$

$$\frac{d\rho_T(\lambda)}{d\lambda} = \frac{-5 \cdot 8\pi hc}{\lambda^6} \cdot \frac{1}{e^{\frac{G}{\lambda kT}} - 1} - \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{\frac{h\nu}{\lambda kT} \cdot e^{\frac{h\nu}{\lambda kT}}}{\left(e^{\frac{G}{\lambda kT}} - 1\right)^2}, \quad (3.103)$$

substituindo $y(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{G}{\lambda kT}} - 1}$

$$\frac{-5y}{\lambda} - \frac{yhc}{\lambda^2 kT} \cdot \frac{\frac{G}{e^{\lambda kT}}}{\frac{G}{e^{\lambda kT} - 1}} = 0, \quad (3.104)$$

Retomando, $G = h\nu$

$$- \frac{yhc}{\lambda^2 kT} \cdot \frac{\frac{h\nu}{e^{\lambda kT}}}{\frac{h\nu}{e^{\lambda kT} - 1}} = \frac{5y}{\lambda}, \quad (3.105)$$

$$- \frac{hc}{\lambda kT} \cdot \frac{\frac{h\nu}{e^{\lambda kT}}}{\frac{h\nu}{e^{\lambda kT} - 1}} = 5, \quad (3.106)$$

fazendo $x = \frac{hc}{\lambda kT}$

$$x \cdot \frac{e^x}{e^x - 1} = 5, \quad (3.107)$$

que resulta na equação transcendental:

$$\frac{x}{5} - 1 + e^{-x} = 0 \quad (3.108)$$

a solução encontrada para a equação foi obtida através de curvas transcendentais, como ilustrado na figura 3.7.

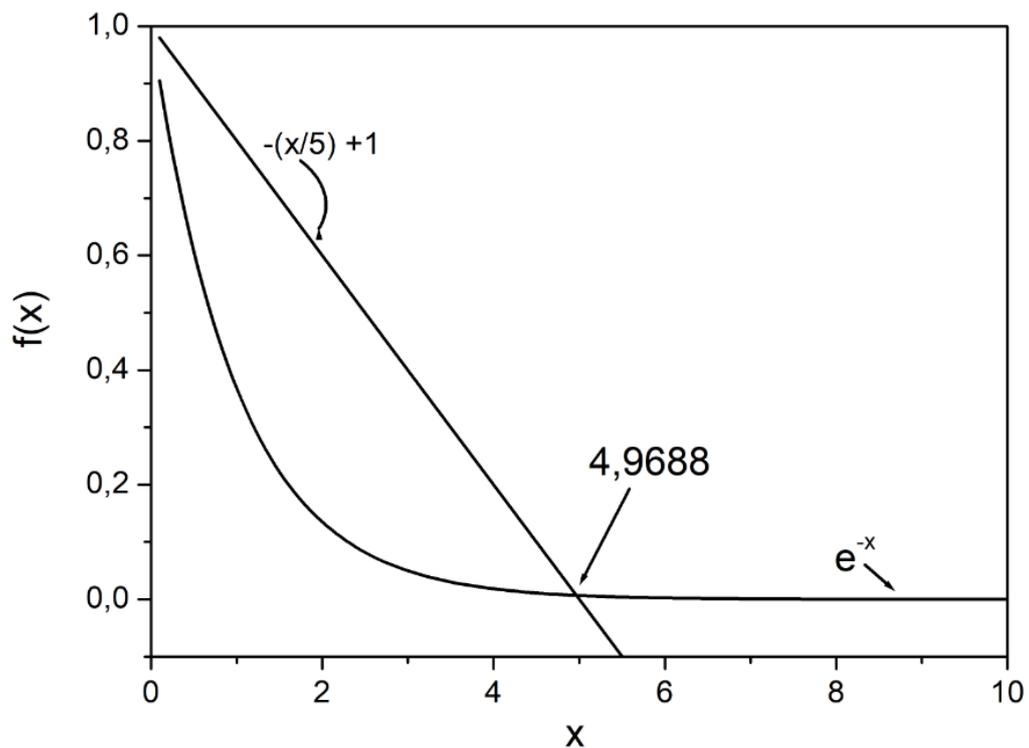


Figura 3.7 – Curvas transcendentais, cuja intersecção fornece a solução em $x = 4,9688$.

Como $x = \frac{hc}{\lambda kT}$, e $x = 4,9688$, temos que:

$$\frac{hc}{\lambda kT} = 4,9688, \quad (3.109)$$

$$\lambda T = \frac{hc}{4,9688.k}, \quad (3.110)$$

$$\lambda T = 2,89.10^{-3}. \quad (3.111)$$

O comprimento de onda máximo multiplicado pela temperatura absoluta de um corpo é igual a uma constante. Este resultado é compatível com a lei que Wien obteve experimentalmente.

Diante desses resultados a primeira problemática da física do final do século XIX, a incandescência dos corpos aquecidos, foi solucionada. A seguir iremos tratar da solução do segundo problema: a emissão de elétrons por um metal irradiado com luz.

3.2.11 O efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi uma experiência que comprovou a teoria de Planck/Einstein e mostrou que a luz não se comporta apenas como onda, mas também como partícula. Trata-se da emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de radiação eletromagnética sobre essa superfície. Os elétrons ejetados pelo material são chamados “fotoelétrons”.

O primeiro a observar o fenômeno e verificar que descargas elétricas entre dois eletrodos ocorrem mais facilmente na incidência de luz ultravioleta, foi Heinrich Hertz em 1887. Em 1902 foi estudado por Lenard com um experimento que era constituído com tubos de raios catódicos. A figura 3.8 ilustra a ideia do experimento de Lenard.

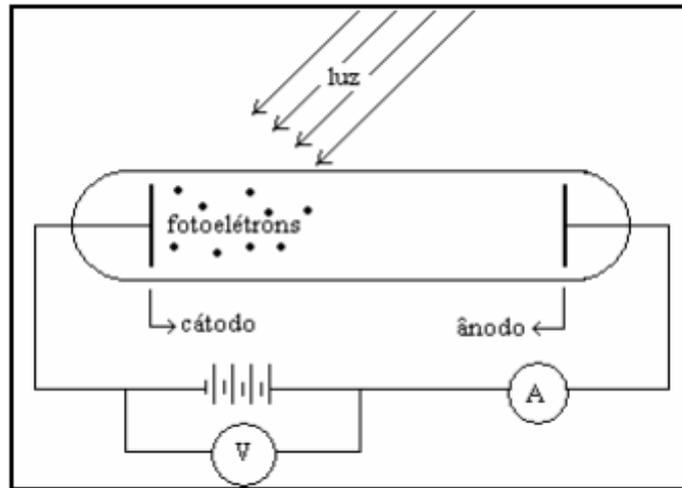


Figura 3.8 – Aparato experimental para verificação do efeito fotoelétrico. (Jader, 2003).

O experimento tem como base um tubo com gás rarefeito, que possui um catodo de um lado e do outro lado um anodo, que estão ligados formando um circuito que registra a corrente elétrica através de um amperímetro e possui uma fonte de tensão que pode ser ajustada. Conforme o esquema da figura 3.8 o objetivo do experimento é verificar como a luz afeta a corrente elétrica do circuito. Na ausência de incidência de luz não há corrente elétrica.

1 – A luz incide sobre o catodo que emite elétrons que se deslocam e chegam ao anodo e geram uma corrente elétrica quando ΔV é positivo.

2 – A corrente elétrica depende da intensidade da luz.

3 – A corrente elétrica aparece instantaneamente com a incidência de luz, fato que não se sabia explicar classicamente.

4 – A corrente elétrica não aparece com qualquer frequência, existe uma frequência mínima necessária para que o fenômeno ocorra.

5 – A frequência limite para gerar corrente elétrica depende do metal do catodo.

6 – Invertendo a polaridade de ΔV , isto é, fazer com que o anodo possua um potencial menor que o catodo. Temos então $-\Delta V$. Alguns elétrons que chegariam ao anodo estão sendo puxados ao catodo de volta pela inversão da força elétrica. Nessa situação os elétrons partem com energia cinética máxima e voltam no decorrer da trajetória, alguns ainda conseguem chegar ao anodo, e muitos voltam, podemos então definir um “potencial de corte” V_0 . (Martins, 2011).

Nestas condições os elétrons possuem uma energia potencial $E = e.V_0$, sendo e a carga do elétron e V_0 o potencial. Fazendo, $E_{cMax} = e.V_0$, daí temos;

$$V_0 = \frac{E_{cmáx}}{e} \quad (3.112)$$

Na figura 3.9 podemos analisar o comportamento da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada, quando ΔV é positivo a física clássica consegue responder, no entanto quando ΔV é negativo o potencial de frenamento converge para o mesmo valor tanto para alta intensidade como para a baixa intensidade e isso não se explica classicamente.

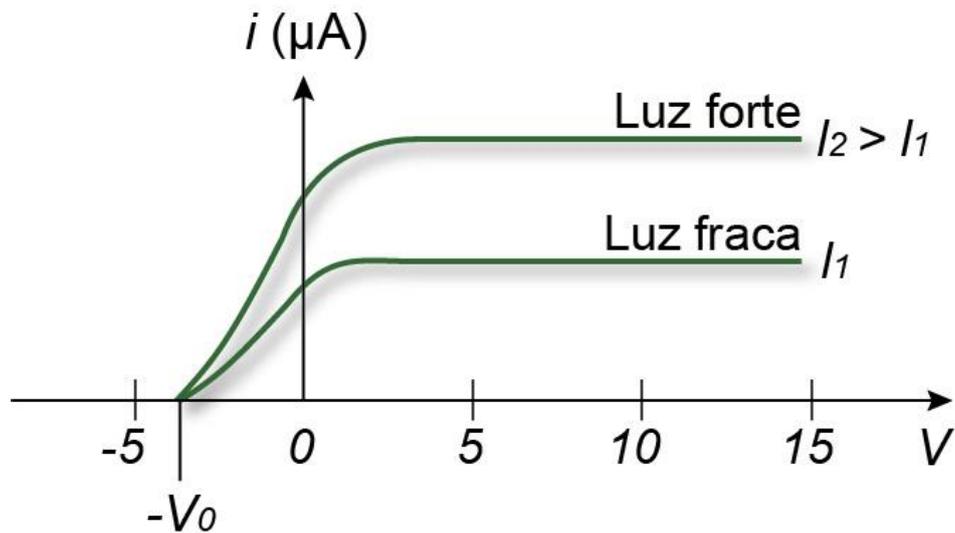


Figura 3.9 – ilustração do potencial de corte do efeito fotoelétrico para diferentes intensidades de radiação eletromagnética. (Fauth, 2011).

De acordo com a teoria clássica algumas previsões do experimento poderiam ser feitas como: inferir que o aumento da intensidade da radiação incidente aumenta a energia cinética dos elétrons ejetados. Ademais, o efeito fotoelétrico deveria acontecer para qualquer frequência da radiação incidente, desde que sua intensidade (amplitude) fosse suficiente. Além disso, também se presumia que, para os elétrons serem ejetados com radiação suficientemente fraca (pequena amplitude), deveria existir um atraso entre o instante que a radiação começa a incidir sobre o material e a ejeção do elétron. No entanto, nenhuma dessas previsões foram constatadas na realização do experimento. O que se observou foi que a emissão de fotoelétrons é instantânea a partir da incidência da radiação. Igualmente verificou-se a existência de uma frequência de corte inerente a cada material, na qual abaixo dela não há a ocorrência de emissão de fotoelétrons mesmo para altas

intensidades. Provou-se que para um mesmo material o potencial de frenamento é o mesmo para qualquer intensidade, mas aumenta de modo proporcional à frequência. Ademais, a energia cinética dos fotoelétrons não depende da intensidade da radiação e sim da sua frequência.

3.2.12 A quantização de Einstein

Ao publicar seus trabalhos sobre a natureza da luz, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), resgatou a teoria corpuscular da luz, postulou que todas as ondas eletromagnéticas eram formadas por pequenos pacotes de energia, os quanta de luz, que posteriormente foram chamados de fótons. Para Planck, o conceito era de pequenos osciladores no interior de um corpo negro, e a energia quantizada era um fato que só acontecia para a radiação em uma cavidade. Einstein foi o primeiro a defender que a energia era quantizada independente da cavidade. Ele postulou que todas as ondas eletromagnéticas eram formadas por pequenos pacotes de energia, os quanta de luz, que posteriormente foram chamados de fótons.

Sendo assim, cada fóton deveria apresentar energia discreta de acordo com a equação:

$$E_{\text{fóton}} = h\nu \tag{3.113}$$

Os elétrons do metal adquirem a energia necessária para serem arrancados de uma só vez, absorvendo completamente a energia dos fótons. Por esse motivo, se explica a rapidez do efeito fotoelétrico sem o atraso previsto classicamente. Cada fóton é responsável pela ejeção de um elétron. Assim, aumentando-se a intensidade da radiação, aumentaríamos a quantidade de fotoelétrons ejetados, ou seja, a corrente elétrica no experimento de Lenard. Existe uma grandeza chamada função trabalho, que é a energia mínima necessária para se retirar o elétron do metal, e depende exclusivamente da natureza do metal. Ela é representada por Φ e sua unidade é o elétronvolt. 1 eV equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ joules.

Como a energia cinética máxima que o fotoelétron adquire é igual a energia do fóton absorvido menos a energia necessária para se retirar o elétron do metal. A equação de Einstein assume a forma:

$$E_C = h\nu - \phi \tag{3.114}$$

Para que o efeito fotoelétrico ocorra é necessária a condição de que a energia do fóton seja maior que a função trabalho.

$$h\nu > \phi \tag{3.115}$$

Como a intensidade da radiação incidente não interfere no efeito é necessário que exista uma frequência de corte mínima para a ejeção dos fotoelétrons. Para determiná-la é simples. Basta perceber que, para que não ocorra o efeito, a energia cinética do fotoelétron deve ser zero. Aplicando na equação (3.114), temos frequência mínima necessária para que o efeito fotoelétrico ocorra:

$$\nu_0 = \frac{\phi}{h}. \tag{3.116}$$

A frequência de corte também sugere a existência de um comprimento de onda de corte, já que estão relacionadas com $c=\lambda.\nu$ e λ_0 é o comprimento de onda máximo para a ocorrência do efeito.

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\phi}. \tag{3.117}$$

A partir das bases tecnológicas e físicas construídas aqui podemos construir o produto e aplicá-lo analisando seus resultados. No próximo capítulo faremos a apresentação da metodologia empregada.

Capítulo 4

Metodologia na Aplicação do Produto

Iremos apresentar neste capítulo a metodologia utilizada na aplicação do produto, descrevendo as etapas de realização do trabalho. Além disso, abordaremos sobre a estrutura física e pedagógica da escola, local onde foi aplicado o produto.

4.1 Descrição e informações sobre a escola

A Escola de Referência em Ensino Médio Senador Aderbal Jurema é uma escola pública de subúrbio, localizada no bairro do Curado IV do município de Jaboatão dos Guararapes. Ela possui 440 alunos no regime semi-integral que funciona em 2 turnos apenas nas terças e quintas-feiras. O ensino médio é constituído por: 4 primeiros anos, 3 segundos e 4 terceiros anos. O horário noturno é destinado ao ensino de jovens e adultos e há também uma turma de educação especial no horário semi-integral. Sua fachada é mostrada na figura 4.1.



Figura 4.1 - Fachada da Escola Estadual Senador Aderbal Jurema.

Sua estrutura é composta por: uma biblioteca, um auditório, uma sala de leitura, laboratórios de informática, física e matemática, química e biologia e uma recente quadra poliesportiva. Em relação a recursos tecnológicos possui apenas 1 projetor funcionando que fica no auditório, 4 quebrados, um televisor de 42 polegadas sem controle remoto e sem cabos *USB* ou *HDMI*. Não possui *internet* disponível aos alunos nem aos funcionários, exceto quando em atividades de preenchimento da caderneta *online* e tudo isso realizado num local exclusivo. No laboratório de informática existem 12 computadores que não funcionam e também não há rede de *internet* disponível. O laboratório de física e matemática possui diversos equipamentos que praticamente não são ou foram utilizados e muitos ainda permanecem embalados e encaixotados. Existem também 12 kits de robótica educacional da Lego que permanecem sem utilização trancados no armário. Já o laboratório de química e biologia, a capela não está instalada e as substâncias estão vencidas. Além disso, há 8 microscópios e toda aparelhagem necessária para realização de experimentos. As tomadas dos laboratórios são antigas e nem sempre são compatíveis com as tomadas dos aparelhos elétricos e eletrônicos, como também não existem adaptadores. Na figura 4.2 podemos ver a imagem do auditório da escola.



Figura 4.5 - Auditório da Escola Estadual Senador Aderbal Jurema.

4.2 O perfil do professor de física

Na escola há três professores que lecionam física, entretanto há apenas um que é licenciado na disciplina e possui a graduação. Os outros dois possuem graduação em química e matemática sem especialização nas suas respectivas áreas. O professor licenciado em física é o responsável pelas turmas do terceiro ano, o mesmo participou do trabalho e afirmou nunca ter ensinado sequer algo sobre física moderna.

4.3 O perfil do aluno

O aluno desta comunidade não possui poder aquisitivo alto, mas comumente alguns alunos estão com aparelhos eletrônicos bem sofisticados, celulares, tablets e notebooks, embora não sejam muitos que possam usufruir dessas tecnologias. A maioria dos alunos não tem os pais presentes na vida escolar de seus filhos, seja porque ambos trabalham o dia inteiro, por conta de viverem em lares separados, ou por conviverem com outros membros da família que não são seus pais. Os alunos que tem seus pais presentes demonstram maior interesse e respeito em sala de aula, como também melhores desenvolvimentos cognitivos, de acordo com a participação e resultados em provas. Há um grande número de alunos faltosos e desistentes, principalmente nos dias de semi-integral, pois alguns precisam cuidar de irmãos mais novos ou participar de algum tipo de comércio para ajudar no sustento da família. Apesar de estarem no último ciclo do ensino básico é comum não conseguirem interpretar um texto, efetuar problemas aritméticos simples e nem possuem uma organização algébrica na hora de descrever quantitativamente alguma grandeza.

4.4 Tecnologias utilizadas na aplicação do método híbrido

Antecedendo a aplicação todos os alunos de todas as turmas de terceiro ano de ensino médio foram submetidos a um teste 1, apêndice 3, com dez questões dissertativas, sendo que cinco eram sobre a metodologia de ensino aplicada na escola de maneira geral e cinco sobre conceitos básicos envolvendo, radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico.

O trabalho foi realizado com as turmas de terceiro ano da seguinte maneira; em uma foi aplicado o método de ensino híbrido, na outra o ensino tradicional clássico, e nas outras duas o ensino clássico com o professor da escola. Os conteúdos foram combinados pelos professores com antecedência, ao professor da escola foi dada a tarefa de pesquisar os temas: radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico, já que o mesmo alegou nunca ter lecionado ambos. Nas turmas onde foi aplicado o método clássico, para explorar todo

conteúdo foram necessárias 16 aulas expositivas na sala de aula, como por exemplo, aplicações práticas e resoluções de exercícios.

Já no método híbrido, para todo conteúdo foram necessárias 10 aulas, que aconteceram no laboratório de física e matemática. Neste caso foi aplicado o método da sala de aula invertida e o suporte virtual na plataforma do *google classroom*, apostila disponível com todo conteúdo trabalhado em sala sendo essa utilizada pelos alunos no celular em formato PDF. Com antecedência as aulas presenciais, liberava-se vídeos na plataforma para que os alunos já chegassem às aulas com determinado conhecimento prévio às discussões, durante as aulas aconteciam a realização de trabalho em grupo, debates, uso de simuladores virtuais e após a aula a liberação de *webquiz* para verificação de aprendizagem na forma lúdica. Ao final de todo conteúdo foi aplicado o mesmo teste 2 , apêndice 4, com dez questões dissertativas a todos os alunos de todas as turmas.

4.5 Atividades desenvolvidas no ensino híbrido

Inicialmente, o primeiro contato foi para explicar aos alunos o método que seria aplicado e o papel de cada agente no processo. Desta forma, foram realizados os seguintes procedimentos: listar os e-mails dos alunos; solicitar que quem não possuísse um e-mail do Gmail providenciá-lo com a maior brevidade possível e fazer um diagnóstico prévio da relação dos alunos com as tecnologias em se tratando de acessibilidade a *internet*, computadores e celulares. Para os alunos foram feitas as seguintes recomendações: deixar claro e evidente que é necessário acessar o conteúdo antecipadamente; fazer anotações e repetir os vídeos quantas vezes forem necessárias; ler a apostila (apêndice 5); ser ativo no encontro presencial; retornar a plataforma para participar *quiz* e depois tentar responder os exercícios da apostila e criar o hábito de antecipar os conteúdos já que os novos conteúdos seriam lançados na plataforma uma semana antes do encontro na sala de aula, tempo suficiente para os alunos formularem suas dúvidas.

As atividades do ensino híbrido não se restringem apenas à utilização de instrumentos digitais. Como sua definição é a mistura dos dois mundos, físico e virtual, os momentos presenciais também são utilizados para realização de experimentos e investigações com aparatos. Ao inserir o tema da radiação eletromagnética, para discutir as suas diversas faixas do espectro e aplicações tecnológicas, foi utilizado um radiômetro de Crookes e uma luz negra da escola, conforme figura 4.6. O objetivo foi introduzir o conteúdo e gerar questionamentos sobre radiação e temperatura. Neste encontro também foi utilizado o texto “O enigma do moinho de luz” dos professores José Pedro Rino e

Nelson Studart ambos do Departamento de Física Universidade Federal de São Carlos.
(Rino, Studart, 2007).



Figura 4.6 – Radiômetro de Crookes e fonte de luz negra.

Os alunos também utilizaram os *flashes* dos celulares e por fim saíram da sala para testar com a luz solar, conforme a figura 4.7.



Figura 4.7 – alunos experimentando o Radiômetro de Crookes.

Ainda em sala foi discutido o espectro visível e sua ordem. Para visualizá-lo de maneira simples, utilizamos um béquer com água e um espelho na radiação ultravioleta emitida na luz solar.

Ao tratar da lei do deslocamento de Wien e da lei de Stefan-Boltzmann, foi inserido na plataforma do *google classroom* vídeo aulas para que obtivessem conhecimento prévio, e discutíssemos as implicações das leis na sala de aula.

Também utilizamos para explicar a lei de Wien, um simulador virtual (vide figura 4.8) para visualização do deslocamento do pico da curva de radiância espectral em função do comprimento de onda analisando a variação da temperatura. Como não havia *internet* disponível, foi realizado o *download* do simulador para ser utilizado em sala de aula, uma grande vantagem deste *software* é a possibilidade de trabalhar sem rede.

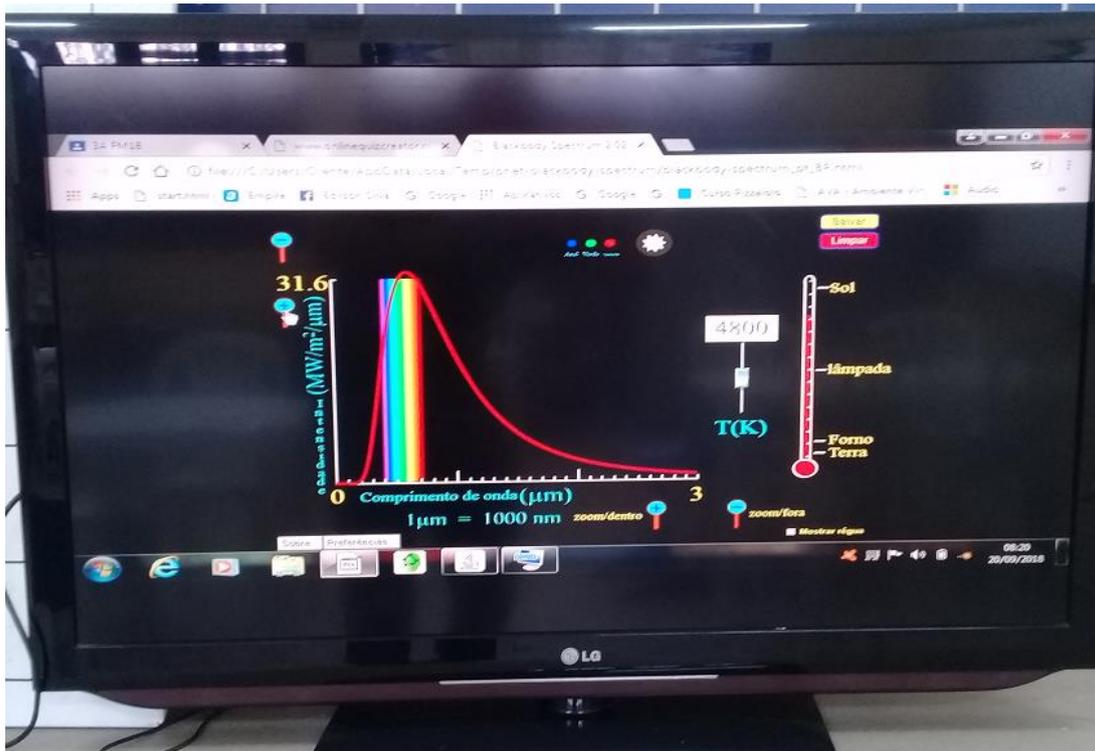


Figura 4.8 – Simulador virtual da lei do deslocamento de Wien.

As discussões sobre a lei de Wien foram enriquecidas após o uso do simulador e comentários relativos ao brilho dos materiais aquecidos, coloração de corpos celestes e temperatura, economia de energia e lâmpadas incandescentes.

Para desenvolver a habilidade analítica tanto para a lei de Wien como a de Stefan-Boltzmann, foram feitos exercícios em grupo, figura 4.9.



Figura 4.9 – Alunos resolvendo problemas em grupo.

Os celulares mais uma vez foram utilizados na aula tanto para servir na função calculadora como no papel de apostila virtual.

No tema “teoria clássica x teoria quântica”, foi realizado um debate em sala de aula, figuras 4.10 e 4.11 com uma atividade para completar o quadro de acordo com o que absorveram das leituras e vídeos dispostos na plataforma.



Figura 4.10 – Roda de debates sobre teoria clássica x teoria quântica.

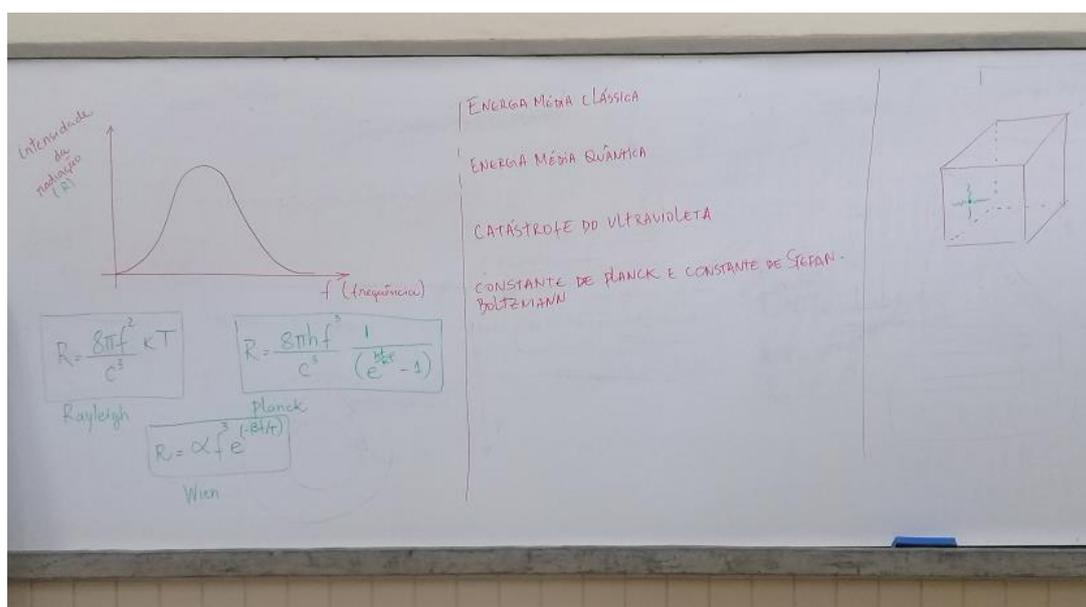


Figura 4.11 – Lousa incompleta para ser devidamente preenchida pelos alunos.

Encerrando com efeito fotoelétrico e novamente com ajuda de um simulador virtual, figura 4.13, o trabalho foi concluído de forma positiva, com muitos questionamentos, e as deduções lógicas tornaram-se mais factíveis com a visualização do fenômeno. Os alunos perceberam que o efeito fotoelétrico é mais fácil de acontecer para uma placa do metal sódio e para radiações com frequências mais altas; que a intensidade da radiação não interfere na ocorrência do fenômeno, mas sim na quantidade de elétrons ejetados e na velocidade dos mesmos, e que a energia cinética depende do metal. Na figura 4.12 podemos ver os alunos acompanhando as simulações virtuais realizadas pelo professor no encontro presencial. No momento, as variáveis eram alteradas de acordo com as sugestões dos alunos, visto que, não dispúnhamos de computadores suficientes para que todos pudessem manipular. Contudo, os simuladores ficaram disponíveis na plataforma virtual para que os mesmos conseguissem manipular em casa ou qualquer outro local com acesso a rede de *internet*.



Figura 4.12 – Alunos observando a simulação do efeito fotoelétrico através de um simulador virtual.

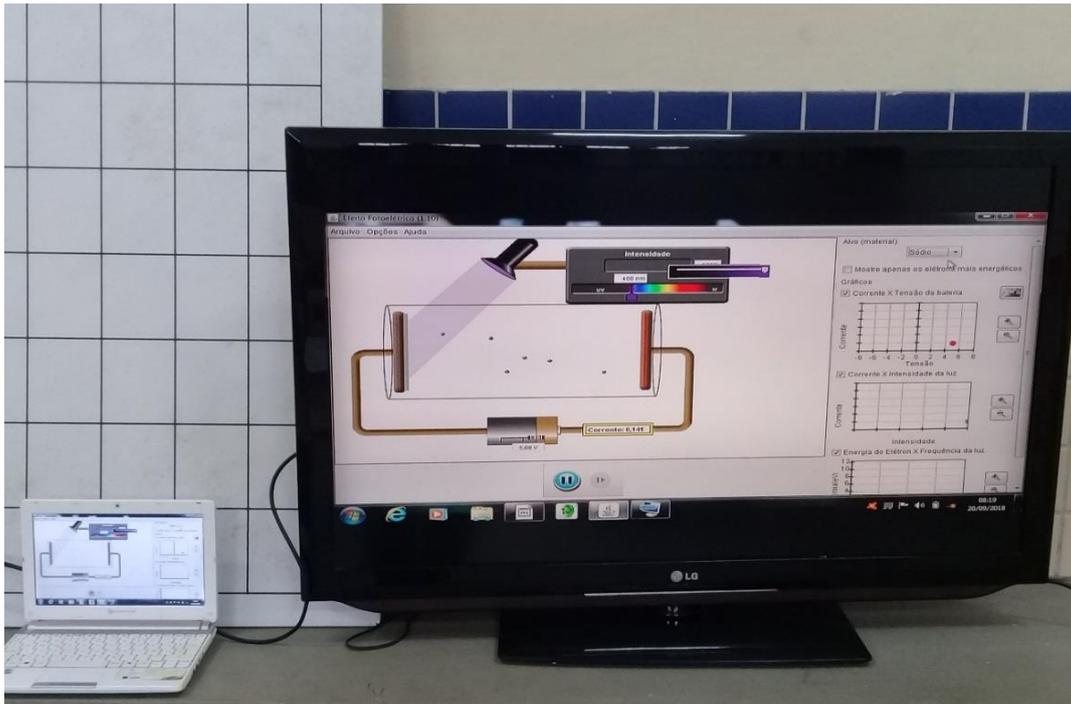


Figura 4.13 – Simulador virtual do efeito fotoelétrico.

Após a aula foi liberado no ambiente virtual o *quiz* sobre o efeito fotoelétrico para que os alunos pudessem revisar o conteúdo e se aprofundar de maneira lúdica. A figura 4.14 mostra uma *interface* de uma das perguntas abordadas no jogo.

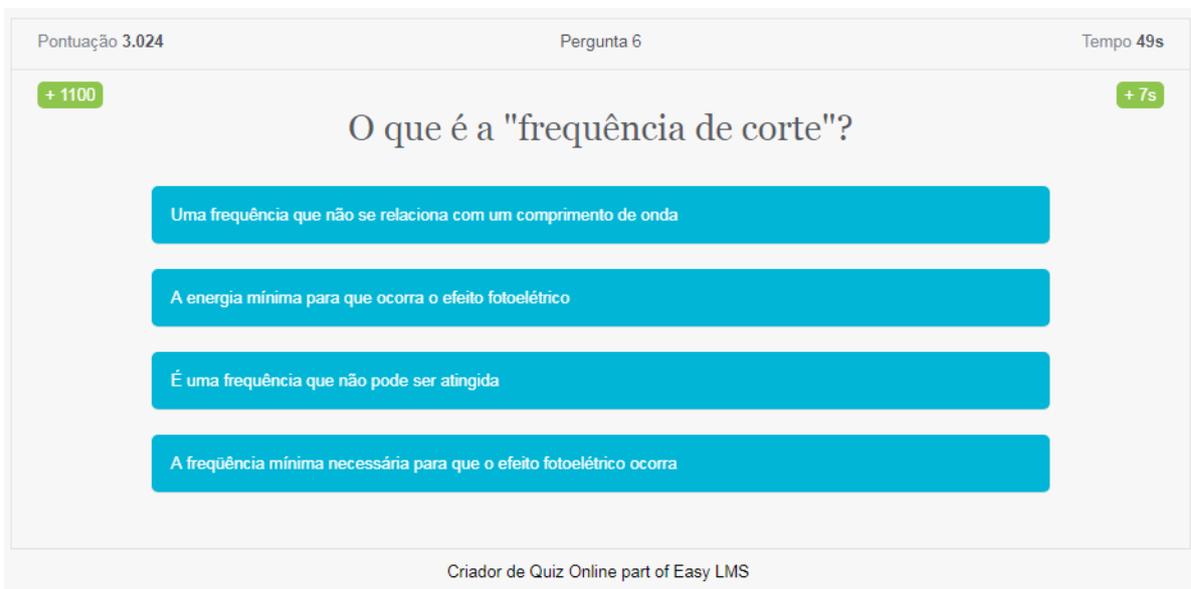


Figura 4.14 – Interface do *quiz online* utilizado como ferramenta de aprendizagem.

No próximo capítulo abordaremos os resultados obtidos a partir das proposições apresentadas aqui.

Capítulo 5

Resultados

Neste capítulo apresentaremos os resultados obtidos com base na metodologia descrita no capítulo anterior.

5.1 Dados coletados do teste 1

Na abordagem inicial, o objetivo aqui era avaliar se as mídias digitais eram utilizadas em sala de aula, o perfil de aula que os alunos possuíam e como os professores trabalhavam os temas em sala, além de poder analisar algum conhecimento prévio, subsunçores de Ausubel, que poderia servir nas abordagens para introdução dos conteúdos de física moderna.

Acerca das 5 questões metodológicas 68 alunos participaram e responderam da seguinte maneira:

Questão 1

Qual a sua opinião sobre os conteúdos passados pelos professores em sala de aula?

Respostas: 60,3% classificaram como bom ou interessante, 2,9% como interessantes, 11,8% não responderam e 25% retornaram respostas negativas como: conteúdos superficiais, depende do professor, repetitivos e deixam a desejar.

Ao considerar que menos da metade dos alunos avaliam de forma positiva os conteúdos estudados, podemos perceber que há uma insatisfação por parte dos alunos em relação aos conteúdos, mas que é bem menor que as avaliações positivas, o que nos mostra que apesar das dificuldades do cotidiano da vida escolar é possível ainda colher bons resultados.

Questão 2

Qual a sua opinião sobre o professor que entende e usa tecnologias digitais nas aulas?

Respostas: Apenas uma pequena fração de 4% acredita que os mesmos resultados podem ser obtidos sem a tecnologia, os 84,3% retornaram resposta positivas como: acho mais interessante, fica menos monótono e pode ir mais além. Não responderam 11,7%.

A monotonia faz parte do dia a dia das escolas e os alunos indicam que a utilização de tecnologias digitais em sala de aula pode ser um diferencial que pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem e na motivação de ir à escola, realização das tarefas e participação nas aulas.

Questão 3

O que você acha das aulas que tem na sua escola? O que você acha que deveria mudar nas aulas para poder melhorar?

Respostas: 23,5% dos alunos afirmam não gostarem das aulas que frequentam na escola, para eles as aulas são repetitivas, chatas e pouco interessantes, além disso, o horário integral é criticado devido a quantidade de aulas expositivas. Os que classificam como boas representam 33,8%, mas ainda deixam ressalvas como: deveria se usar mais o laboratório, ter aulas diferentes, relacionar as aulas com ENEM e inserção do uso da tecnologia. Não responderam 11,7% e os 31% restantes apresentaram respostas vagas e sem contexto.

Pode-se perceber a frustração dos alunos em saber que no local onde estudam possui laboratórios, computadores, kits de robótica, projetores que não são utilizados. Os horários integrais funcionam nas terças e quintas-feiras, são dez aulas em um dia, e quase sempre, todas são expositivas.

Questão 4

Qual a sua maior dificuldade nas aulas e na aprendizagem de Física?

Respostas: 8,8% admitem problemas com cálculos, 8,8 % não conseguem resolver problemas, 23,5% afirmam que decorar fórmulas é a maior dificuldade enquanto que 22% dizem que possuem problemas com tudo relacionado a física. Não responderam 11,7% e os 25,1% restantes apresentaram respostas vagas e sem contexto.

A aversão à disciplina de Física pode ter vindo da maneira de como ela é ensinada. Quase um quarto dos alunos acreditam que precisam decorar uma fórmula para entender física. Muitos deles apresentam problemas anteriores com a matemática, e associam física a matemática devido a existência de cálculos e acabam criando obstáculos epistemológicos antes mesmo de tentar se engajar na disciplina.

Questão 5

Os exemplos que os professores usam esclarecem os temas ou os deixam mais complicados?

Respostas: 45,6% afirmam que os exemplos esclarecem os conteúdos, 17,6% que depende do professor, 11,7% não responderam e os 25,1% restantes apresentaram respostas vagas e sem contexto.

Embora quase metade dos alunos afirmarem de forma positiva sobre os exemplos dos professores e suas explicações serem esclarecedoras, devemos ainda considerar esse quantitativo baixo, era de se esperar algo acima de 75%. É preocupante ver que metade da turma sequer entende o que se está falando em sala de aula. Por muitas vezes, professores usam os mesmos exemplos durante anos e em alguns casos não se percebe que seus exemplos não são tão esclarecedores.

Sobre o questionário metodológico podemos concluir que embora sejam criticadas as aulas expositivas ainda foram bem avaliadas pela maioria dos alunos e que as consideram boas aulas. Contudo acreditam que é necessário inserir novos métodos para que sejam reduzidos os aspectos negativos como: repetitividade, monotonia, superficialidade, variedade de dificuldades individuais que não são sanadas, além da questão didática dos professores que geram um desinteresse por parte dos alunos.

Questão 6

Nos livros e na internet facilmente podemos encontrar a temperatura do Sol. Como você acha que ela foi calculada?

Respostas: Apenas 1,5% explicou que a temperatura tem relação com a cor do espectro, 4,4% achavam que possuía relação com a distância e 82,4% responderam não sei. Não responderam 11,7%.

Questão 7

O que você entende sobre radiação eletromagnética?

Respostas: 6% responderam corretamente, 54,3% responderam não saber, 16% responderam algo que não havia relação com a pergunta e 12% confundem com radiação nuclear. Não responderam 11,7%.

Questão 8

Você saberia dizer qual o fenômeno que ocorre quando colocamos um sensor de luz para funcionar um equipamento elétrico usando a energia solar?

Respostas: 87% não sabiam responder ou responderam errado, 11,8% não respondeu e 1 aluno escreveu a resposta correta.

Questão 9

A maioria dos metais quando aquecido próximo ao seu ponto de fusão (passagem para o estado líquido), ficam incandescentes (brilham), o que ocorre em sua opinião?

Respostas: 57,3% afirmam que não sabem, 24% emitiram uma resposta errada sem relação alguma com o problema, 6% acharam que era por conta da condução do calor e 1% acertaram. Não responderam 11,7%.

Questão 10

Você utiliza o livro didático? Por quê?

Respostas: 6% afirmam usar o livro didático, 44% afirmam não usar por conta do peso e 50% porque o professor não usa.

As questões 6, 7, 8 e 9, são relacionadas aos conhecimentos de conteúdos de física moderna, a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. Claramente os resultados dos questionários evidenciaram que os alunos desconhecem muito desses temas e sequer conseguiam relacioná-los com as tecnologias do cotidiano. Dentro de suas convicções ainda tentaram responder, mas não obtiveram êxito.

5.2 Dados coletados do teste 2

Resume-se a um questionário, apêndice 4, com dez perguntas qualitativas e sem alternativas que buscou avaliar a capacidade dissertativa, argumentativa e analítica dos alunos, visto que, os mesmos são treinados a praticarem avaliações de múltipla escolha. Dos 136 alunos que estão definitivamente matriculados, 36% não compareceram no dia da avaliação, algo corriqueiro no cotidiano da escola.

Vale salientar que o teste foi apenas uma das várias formas de avaliação no método híbrido. Pois se o teste fosse a única forma, estaria em oposição a ideia de personalização do ensino em considerar as diversas maneiras de avaliar de acordo com as habilidades de cada indivíduo.

A participação ativa nos debates em sala, resolução coletiva de exercícios, também foram formas de avaliar o desenvolvimento cognitivo em relação aos temas e ao senso crítico.

Resultado:

Em relação aos alunos que participaram da vivência com a metodologia do ensino híbrido, 8 faltaram no dia da avaliação, sendo então, o teste aplicado a 17 alunos que atingiram a média geral 4,64 de um total de 10,00 pontos possíveis.

Método híbrido

questão	números de acertos	% do número de acertos	Conteúdo
1	14	82,4%	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (qualitativa)
2	13	76,5%	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (analítica)
3	12	70,6%	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO (qualitativa)
4	3	17,6%	TEORIA QUÂNTICA (qualitativa)
5	7	41,2%	LEI DE WIEN (qualitativa-argumentativa)
6	2	11,8%	LEI DE STEFAN-BOLTZMANN (analítica-argumentativa)
7	13	76,5%	ENERGIA (qualitativa-argumentativa)
8	3	17,6%	TEORIA QUÂNTICA (dissertativa-argumentativa)
9	9	52,9%	EFEITO FOTOELÉTRICO (dissertativa-argumentativa)
10	3	17,6%	EFEITO FOTOELÉTRICO (analítica-argumentativa)

Tabela 5.1 – Resultados da verificação de aprendizagem no método de ensino híbrido.

As maiores notas foram dos alunos que possuíram maior presença em sala, e que acessaram o conteúdo *online*, e não necessariamente são aqueles alunos tidos como os

melhores da turma. A aluna mais participativa no ambiente virtual atingiu a maior pontuação individual na avaliação deste teste, tendo como resultado nota 8,00.

Método tradicional clássico

Ao método de ensino expositivo clássico, no momento da avaliação, houve 41 faltas, sendo o teste aplicado aos 70 alunos presentes que atingiram uma média geral de 1,74. As maiores notas foram dos alunos que normalmente costumam atingir boas notas e são observados como melhores da turma.

Questão	Números de acertos	% do número de acertos	Conteúdo
1	39	55,7%	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (qualitativa)
2	16	22,9%	ONDAS ELETROMAGNÉTICAS (analítica)
3	9	12,9%	RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO (qualitativa)
4	0	0,0%	TEORIA QUÂNTICA (qualitativa)
5	9	12,9%	LEI DE WIEN (qualitativa-argumentativa)
6	2	2,9%	LEI DE STEFAN-BOLTZMANN (analítica-argumentativa)
7	17	24,3%	ENERGIA (qualitativa-argumentativa)
8	1	1,4%	TEORIA QUÂNTICA (dissertativa-argumentativa)
9	24	34,3%	EFEITO FOTOELÉTRICO (dissertativa-argumentativa)
10	5	7,1%	EFEITO FOTOELÉTRICO (analítica-argumentativa)

Tabela 5.2 - Resultados da verificação de aprendizagem no método de ensino clássico.

O teste agradou aos alunos que participaram das aulas do método híbrido, pois as diversas ferramentas tecnológicas contribuíram para que eles conseguissem um resultado melhor que os alunos do método tradicional. Algo que para ser respondido é necessário

pensar, dissertar e argumentar. A maior queixa dentre os alunos do método tradicional era a ausência de alternativas para assinalar, pois os mesmos só realizam atividades de múltipla escolha e por não encontrar uma forma de tentar adivinhar uma resposta correta 3 alunos entregaram todas as questões em branco.

Do questionário foi esperado que os alunos que possuíram contato com a vivência híbrida obtivessem melhores resultados, e foi exatamente o que ocorreu, pois ficou perceptível que os alunos deste grupo ampliaram suas capacidades argumentativas, e alunos que não eram considerados bons conseguiram bons resultados em relação aos colegas que não participaram da experiência.

Resumo do resultado do questionário

Questão 1

As ondas de rádio se propagam com a rapidez do som, com a rapidez da luz ou com alguma rapidez intermediária?

Trata-se de um problema conceitual simples em que a expectativa era superior a 90% de acertos.

O resultado mostrou que no método híbrido 82,4% descreveram corretamente enquanto no método clássico foram apenas 55,7%. Dentre as respostas erradas, todos confundiram ondas de rádio com ondas sonoras e dissertaram justificando a velocidade do som para ondas de rádio.

Questão 2

As faixas de frequências das estações de rádio FM, estão entre 88 MHz e 108 MHz. Quais são os comprimentos de onda correspondentes nas extremidades da faixa? Obs: $1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$.

Seu propósito era verificar o domínio da equação $c=\lambda.f$ e a capacidade de realizar cálculo simples, entendendo que as ondas de rádio são eletromagnéticas.

Os alunos do método híbrido 76,5% obtiveram de acertos contra 22,9% do método tradicional.

Questão 3

O que é um corpo negro? Qual a sua cor?

Outro problema conceitual, em que o importante era avaliar a capacidade de descrever um constructo teórico.

Foi possível verificar que o conceito não foi tão bem construído no método clássico, visto que, 33 respostas erradas atribuíram cor ao corpo negro. Sendo que, 17 alunos afirmaram que o corpo negro era negro, e 16 alunos afirmaram que o corpo negro era vermelho. Ainda 10 alunos erraram sem nem citar cor.

Os alunos do método híbrido obtiveram 70,6% de acertos contra 12,9% do método tradicional.

Questão 4

Explique as diferenças entre a Teoria Clássica (Rayleigh-Jeans) e a Teoria Quântica (Planck) na explicação da radiação de cavidade.

Neste problema era esperado que as respostas abordassem os limites de validade da lei de Rayleigh-Jeans, da lei empírica de Wien, que houvessem comentários sobre a catástrofe do ultravioleta, da interpolação de Planck na formação de sua lei e a diferença entre as energias médias clássica e quântica. O resultado realmente foi muito ruim pois apenas 3 alunos de 87 acertaram o problema e todos que acertaram participaram do método híbrido. Os alunos do método híbrido obtiveram 17,6% de acertos contra 0% do método tradicional.

Questão 5

Ao olhar o céu através de um telescópio você consegue observar duas estrelas aparentemente com as mesmas dimensões e brilho, mas diferindo apenas na cor, uma é azul e a outra amarela. É possível afirmar algo sobre as temperaturas superficiais delas? Baseado em que você justifica sua resposta?

A resposta adequada à questão seria a interpretação da Lei do deslocamento de Wien. Compreender a relação entre as grandezas comprimento de onda e temperatura e a partir daí justificar a resposta.

Percebeu-se que 26,4% das respostas erradas eram pela não compreensão do que são grandezas inversamente proporcionais. Haja visto que, os alunos que erraram justificaram que a amarela possuía maior temperatura porque tem maior comprimento de onda.

Os alunos do método híbrido obtiveram 41,2% de acertos contra 12,9% do método tradicional.

Questão 6

Um corpo a uma temperatura de 1000K possui radiância igual a $R=5,67 \cdot 10^4 \text{W/m}^2$. Se duplicarmos essa temperatura o valor da nova radiância irá aumentar ou diminuir? Para quanto?

Para responder à questão 6, que avalia as habilidades algébricas e aritméticas dos alunos diante do uso da Lei de Stefan-Boltzmann, foi possível verificar que os alunos possuem enorme dificuldades com cálculos e capacidade de comparar resultados. Por não se tratar de uma questão de múltipla escolha era de se esperar que a quantidade de acertos realmente fosse baixa, pois faz parte do perfil dos alunos da escola terem bases algébricas e aritméticas carentes e deficitárias.

Os alunos do método híbrido obtiveram 11,8% de acertos contra 2,9% do método tradicional.

Questão 7

Considere dois canhões de laser com mesma potência, mesmo tamanho, feitos muito idênticos, com apenas uma diferença: um possui feixe verde e o outro violeta. É possível dizer qual dos dois é mais energético? Qual deles? Por quê?

A expectativa era de um alto número de acertos já que, é uma questão conceitual simples e fácil de justificar relacionando as grandezas energia e frequência.

Dentre as respostas, 18,4% daquelas erradas o mesmo problema da questão 5 em não saberem a relação entre as grandezas o agravante deste caso é que elas são diretamente proporcionais.

Os alunos do método híbrido obtiveram 76,5% de acertos contra 24,3% do método tradicional.

Questão 8

Existem diferenças entre as quantizações de Planck e a de Einstein? Quais?

Diante da sutileza da pergunta, realmente tornou-se uma incógnita a previsão de um resultado. Um erro comum na maioria dos alunos do método clássico foi afirmar que a diferença consistia na introdução da função trabalho na equação de Planck para formar a equação de Einstein do efeito fotoelétrico. O que mostrou uma grande confusão na construção dos conhecimentos.

Quando na verdade, o conceito de Planck era de pequenos osciladores no interior de um corpo negro, enquanto Einstein postulou que todas as ondas eletromagnéticas eram formadas por pequenos pacotes de energia, os quanta de luz, que posteriormente foram chamados de fótons.

Os alunos do método híbrido obtiveram 17,6% de acertos contra 1,4% do método tradicional.

Questão 9

Quais dos dois são bem mais sucedidos em desalojar elétrons da superfície de um metal, os fótons da luz ultravioleta ou os da luz vermelha? Por quê?

Ao tratar do tema efeito fotoelétrico, é esperado que os alunos consigam argumentar sobre a existência de uma frequência de corte, que os tipos distintos de radiação possuem energias diferentes e que essas energias se relacionam diretamente com a frequência da radiação. Portanto, uma possível resposta correta seria que: a radiação ultravioleta por possuir frequência maior e conseqüentemente maior energia que a radiação vermelha, tenha um melhor desempenho na realização do efeito fotoelétrico. Também havia expectativa de comentários sobre a frequência de corte ser mais facilmente atingida pela radiação com maior frequência.

Os alunos do método híbrido obtiveram 52,9% de acertos contra 34,3% do método tradicional.

Questão 10

Um feixe de fótons com comprimento de onda de 600nm incide sobre uma superfície polida de cobre Cu que possui a função trabalho igual a 4,70 eV. Nessas condições diga se ocorrerá o efeito fotoelétrico. Considere a constante de Planck igual a $4,2 \cdot 10^{-15}$ eV e justifique a sua resposta.

Esta questão tinha como objetivo avaliar a capacidade analítica e interpretativa do resultado para a existência do fenômeno. Apenas 9,2% dos alunos acertaram esta pergunta

e justificaram corretamente. No entanto todos justificaram comparando a energia do fóton com a função trabalho, sem citar a frequência de corte.

Os alunos do método híbrido obtiveram 17,6% de acertos contra 7,1% do método tradicional.

5.3 Dificuldades na aplicação do Ensino Híbrido

Mesmo apresentando laboratórios, inclusive de informática, na escola foram encontrados problemas estruturais como: inacessibilidade no uso de redes, projetores quebrados, laboratório de informática sem funcionar devido aos elementos que o compõem também estarem inativos. O televisor estava com botão para ligar quebrado e sem controle remoto impossibilitando ligar e alterar o canal para o modo *HDMI*, máquina copiadora sem *toner* o que não permitiu o uso de materiais impressos, ausência de microfone para gravar as aulas e disponibilizá-las na plataforma virtual, tomadas incompatíveis com os *plugs* e a inexistência de adaptadores. Outrossim, outros problemas detectados de naturezas variadas, contribuíram para que a metodologia de ensino abordada sofresse em sua aplicação, são elas: alto índice de alunos faltosos, calendário escolar com diversos eventos, a incompreensão da metodologia por parte dos alunos que fez com que os mesmos demorassem a fazer o solicitado em casa e contribuindo assim de forma negativa ao bom funcionamento da sala de aula invertida, a pouca participação de alguns alunos por terem a certeza de ganho de pontuação pela participação em eventos do calendário escolar e a incompatibilidade dos simuladores virtuais com o sistema operacional *android* dos celulares e assim não possibilitar a manipulação individual no momento da aula presencial.

5.4 Os pontos positivos da metodologia de ensino híbrido.

Apesar da pouca participação no ambiente virtual, em sala física, muitos participaram bem e desenvolveram um senso crítico e avaliaram de forma positiva as discussões, e aplicações dos temas. Os alunos que acessaram o material previamente tiveram mais facilidade nas aulas presenciais, principalmente nos momentos em que houve debates que precederam as aulas expositivas. Os discentes que acessaram regularmente os conteúdos por meio virtual mostraram um conteúdo diferenciado em relação aos que não fizeram, realizando um maior número de questionamentos durante as aulas, passando mais tempo discutindo e sanando as dúvidas do conteúdo exposto. Ainda, os mesmos destacaram de forma bastante positiva os seguintes itens: os exemplos

e explicações a partir de tecnologias cotidianas; a aprendizagem colaborativa já que normalmente nas disciplinas de cálculo os professores não os colocam para realizar problemas em grupos; o fato das aulas acontecerem em outro ambiente quebrando a rotina da sala de aula; apostila em cores com exemplos resolvidos e aplicações ganhou destaque principalmente por acharem semelhante ao Enem, bem como os testes de vestibulares no final dela, e a facilidade de tê-la em formato PDF no celular; os vídeos curtos para estímulo e curiosidade antecedente as aulas; e principalmente a utilização de *quizes* e simuladores virtuais. A facilidade de poder utilizar os *quizes* nos celulares fez com eles fossem usados durante as aulas quando alguns alunos dispunham de rede em seus aparelhos, já os simuladores após feitos os *downloads* funcionaram perfeitamente sem o uso de *internet* e receberam elogios pois eles minimizam as abstrações que são necessárias em uma explicação expositiva.

5.5 Relatos do professor das turmas

O professor das turmas deixou os seguintes comentários:

“Nunca ensinei esses conteúdos, pois é muito difícil encontrá-los nos livros de ensino médio com clareza, detalhes e exercícios que sua apostila tem. Tive que recorrer a *internet* para conseguir desenvolver os temas, no livro adotado na escola não há o assunto e ele é bem superficial em tudo. Fiquei bastante surpreso com os *quizes* e os simuladores, estes desde já, acredito que irei usar em sala de aula o mais breve possível. A plataforma do *google classroom* avalio de forma positiva devido as dificuldades que enfrentamos na escola em disponibilizar materiais e na taxa de alunos que não usam os livros didáticos. O método de ensino híbrido me desperta interesse, mas não tenho tempo para fazer algo assim.”

5.6 O que fazer para melhorar?

Uma sugestão dos alunos é a criação de vídeos do professor deles, pois assim eles se sentem mais familiarizados e que provavelmente formaria um elo de ligação entre o real e o virtual. Ao gravar os vídeos é importante que o professor utilize um microfone para melhorar a qualidade do áudio podendo assim conseguir mais destaque de seus vídeos e conseguir alcançar seu objetivo. Na vivência também pode-se inferir que ao iniciar o método de inversão, deve-se partir de temas mais simples e só após um maior

tempo de aplicação da metodologia e criação de hábitos inerentes aos discentes na sala de aula invertida é possível realizar atividades mais complexas. Uma melhor infraestrutura da parte tecnológica também facilitaria e melhorariam os resultados, haja vista que, na realização deste projeto perdeu-se muito tempo tentando solucionar problemas dessa natureza sendo necessário checar todo aparato tecnológico antes da realização das aulas. Uma boa alternativa para aqueles alunos que não possuem acesso a redes em casa é disponibilizá-las na escola e assim conseguir garantir a todos alunos o acesso irrestrito aos materiais educativos utilizados na plataforma. No entanto, entendemos que esse problema é um dos mais difíceis de se solucionar, pois a escola onde fora realizado este trabalho, existem dificuldades, onde até mesmo os funcionários da escola sofrem problemas com a rede local de baixa qualidade. portanto não sendo possível disponibilizar aos alunos para o bom andamento das atividades administrativas da escola. A existência de um laboratório de informática pode minimizar este impasse desde que o laboratório possua rede distinta da rede administrativa.

No próximo capítulo serão apresentadas as conclusões.

Capítulo 6

Conclusões

O presente trabalho teve como eixo central a discussão acerca da metodologia de ensino híbrido e o ensino de física moderna nas escolas de ensino médio.

A inserção do método não é uma das tarefas mais simples de realizar, no entanto, também é possível aplicá-lo mesmo sem tantos recursos. Obviamente quanto mais recursos estiverem disponíveis, maior será a chance de sucesso. Vale salientar que as tecnologias não devem preceder a pedagogia e que ambas devem estar relacionadas ao conteúdo. Como foi explicitado no corpo deste trabalho, as tecnologias potencializam o processo de ensino-aprendizagem, mas sem elas não é possível realizar a fusão entre os ambientes virtuais e presenciais, que foi o objeto de estudo, sendo possível replicar em qualquer escola que possua o mínimo necessário de aparelhagem tecnológica como televisor ou projetor de *slide*. Também deve-se averiguar o fator social, pois a comunidade onde está localizada a escola pode traçar o perfil do aluno e este nem sempre tem contato com *internet* ou computadores, embora seja comum para a maioria deles.

Os resultados sinalizam que o grupo que participou da vivência com a metodologia híbrida, conseguiu melhores resultados na realização do teste. As suas respostas também foram mais precisas e detalhadas, ou seja, melhor construída considerando a habilidade argumentativa. A maioria dos alunos da experiência responderam relacionando com algo do material virtual. O ato ver e ouvir, debater, manipular e jogar ajudaram a formar seus subsunçores à aprendizagem significativa. Também vimos no capítulo anterior que nem todas as ferramentas foram aproveitadas ao máximo, algumas sequer tiveram um *feedback* positivo como o *podcast*, talvez em uma outra disciplina ele seja mais útil, ou não foi bem trabalhada, pois nesta experiência ela ficou obsoleta. A apostila destacou-se devido a sua portabilidade nos *smartphones*, por ser um arquivo leve e apresentar uma linguagem adequada com exemplos resolvidos comentados passo a passo, além de uma variedade de problemas de vestibulares propostos ao aluno, no final da apostila, todos com gabarito. Já os simuladores virtuais sem dúvidas agregam bastante valor ao ensino, pois eles eliminaram a abstração necessária que os

alunos precisariam fazer ao imaginar o experimento de Lenard, por exemplo, onde ao manipularem as grandezas e observarem como isso afetava os experimentos. Os alunos puderam deduzir que na realização do efeito fotoelétrico a frequência da radiação é determinante, assim como o material. Igualmente, os *quizes* produziram um efeito muito bom. Eles serviram para detalhar os conteúdos trabalhados em sala e os alunos que jogaram na hora dos debates conseguiam argumentar melhor pois lembravam-se dos conteúdos devido ao jogo. Um exemplo foi a construção do conceito do corpo negro e as teorias clássica e quântica para o problema do aquecimento dos corpos, que como visto, no teste foi respondido de forma correta apenas pelos alunos que utilizaram a ferramenta. Sem dúvidas a plataforma *google classroom* é um excelente material que pode ajudar diversos professores, além de fácil manipulação e dar suporte a vários tipos de mídias, é ideal para o professor sanar as dúvidas dos discentes mais tímidos que não costumam fazer isto em sala de aula.

Uma outra vantagem do ensino híbrido bem significativa foi o controle do tempo, haja vista que, para se lecionar o mesmo conteúdo foi necessário quase que o dobro de aulas comparando ao grupo das aulas expositivas. Assim, no método híbrido os alunos responderam melhor tanto em relação ao aprendizado quanto em resultados.

O tempo que teria a mais em relação ao método tradicional foi utilizado em atividades que despertam a autonomia e colaboração deixando assim o protagonismo dos alunos sobressair.

Ao utilizar diversas ferramentas foi possível identificar onde cada aluno possuía dificuldade e também perceber o potencial de alunos que não correspondiam as aulas expositivas, esta personalização trouxe consigo um ambiente mais disciplinado, pois os estudantes que não corresponderam nas aulas expositivas são os que promoveram a indisciplina nas salas tradicionais.

Finalmente, acredita-se que o ensino híbrido, de fato, é uma metodologia que poderá fazer a diferença daqui para frente. Ela foi capaz de fazer um grupo de jovens de uma escola pública de subúrbio criarem pensamentos críticos e desenvolverem o conteúdo de introdução à física moderna de maneira exitosa e prazerosa. Conseguiram relacionar os conceitos, bem construídos, com o cotidiano e demonstraram bastante interesse sobre o tema. Enquanto isso, no grupo usando método tradicional, os conteúdos foram classificados como chatos como qualquer outro assunto.

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UFRPE



PRODUTO EDUCACIONAL:

PERSONALIZAR A APRENDIZAGEM COM A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ENSINO HÍBRIDO, EM SEU MODELO DE ROTAÇÃO, ESPECIFICAMENTE COM A UTILIZAÇÃO DA SALA DE AULA INVERTIDA, POR MEIO DO DESENVOLVIMENTO DE UMA APOSTILA DE FÍSICA MODERNA, GOOGLE CLASSROOM, SIMULADORES VIRTUAIS E WEBQUIZ.

Gleydson Patrício de Souza Silva

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Apêndice 1

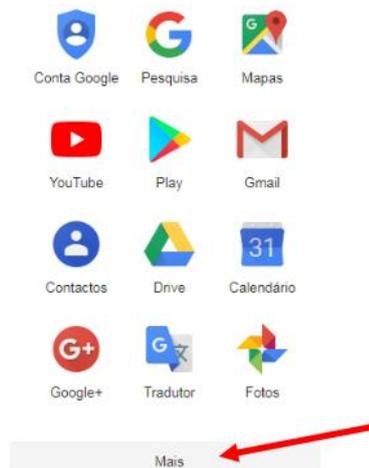
Abrindo uma sala no Google Classroom

É uma ferramenta do *Google* com a funcionalidade de uma sala de aula virtual. Essa plataforma permite-nos inserir vídeos, textos, *links*, e *hangouts*. Também é possível utilizar o drive para armazenamento de arquivos.

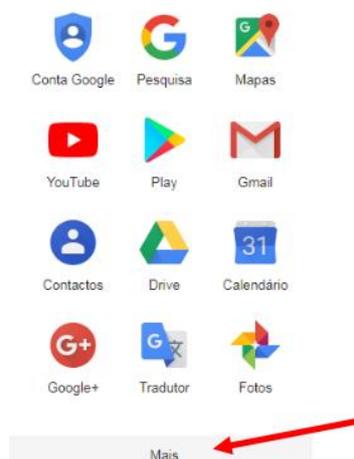
para acessá-lo basta *logar* em sua conta Gmail e clicar nas opções ferramentas do *google* como na figura abaixo.



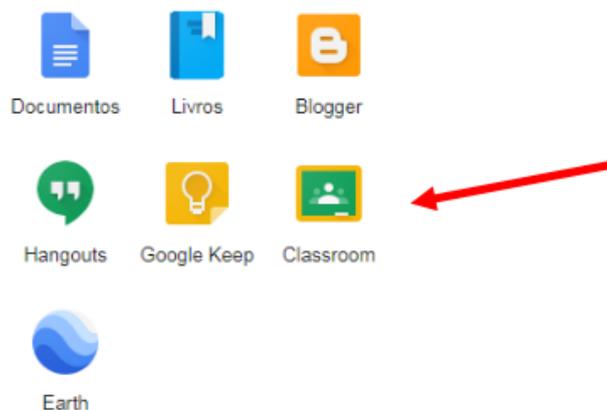
Aparecerá as seguintes opções:



Aparecerá as seguintes opções:



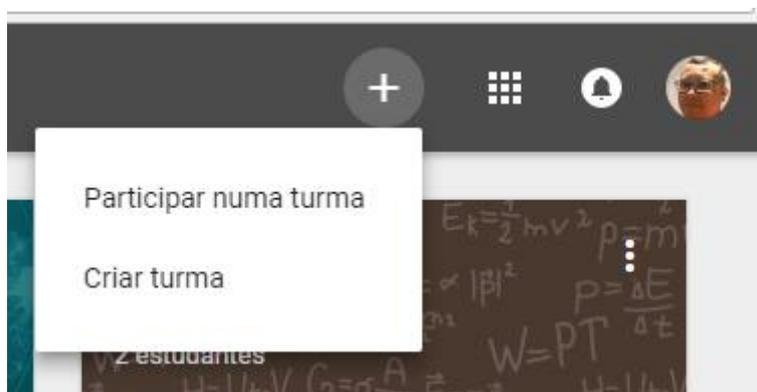
Como podemos ver o *classroom* não aparece, então clique em **Mais**. Aparecerá mais opções e o *classroom* estará lá.



Após o passo anterior o *classroom* abrirá uma nova aba. No caso abaixo já existem 4 turmas vinculadas ao *e-mail*. Para criar ou participar de uma nova turma clique em + no canto superior direito ao lado das ferramentas.



Aparecerá as opções



A opção “participar numa turma” você só poderá *logar*, se o criador da turma lhe fornecer o código de acesso a turma conforme figura abaixo:

Participar numa turma

Peça o código da turma ao seu professor e, em seguida, introduza-o aqui.

[Código da turma](#)

CANCELAR PARTICIPAR

Nessa opção você será um aluno da turma, suas atividades podem ser limitadas pelo moderador da turma que normalmente é o professor.

Na opção criar uma turma aparecerá a caixa de diálogo:

Está a utilizar o Classroom numa escola juntamente com alunos?

Se for esse o caso, a sua escola tem de se inscrever para obter uma conta gratuita do [G Suite for Education](#) antes de poder utilizar o Classroom. [Saiba mais](#)

O G Suite for Education permite que as escolas decidam quais os serviços Google que os respetivos alunos podem utilizar e fornece proteções de [privacidade e segurança](#) adicionais que são importantes num ambiente escolar. Os alunos não podem utilizar o Google Classroom numa escola com contas pessoais.

Li e compreendi o aviso acima. Não estou a utilizar o Classroom numa escola juntamente com alunos

RETROCEDER CONTINUAR

Para continuar você deve clicar na quadricula sinalizada, e automaticamente irá abrir outra caixa de diálogo já com a opção do nome de sua turma.

Criar turma

Nome do curso (obrigatório)

Seção

CANCELAR CRIAR

Criar turma

MNPEF GLEYDSON 2018

Seção

CANCELAR CRIANDO...

Após a criação da turma se abrirá a interface da turma da seguinte forma:

MNPEF GLEYDSON 2018 MURAL ALUNOS SOBRE

MNPEF GLEYDSON 2018

Gleydson x

Selecionar tema
Fazer upload da foto

Mostrar itens excluídos

Os alunos podem postar e comentar

PRÓXIMAS TAREFAS

Nenhuma tarefa para a próxima semana

Boas-vindas ao mural da sua turma
As tarefas e postagens são exibidas aqui.

Anexe materiais a qualquer postagem
Vídeo do YouTube

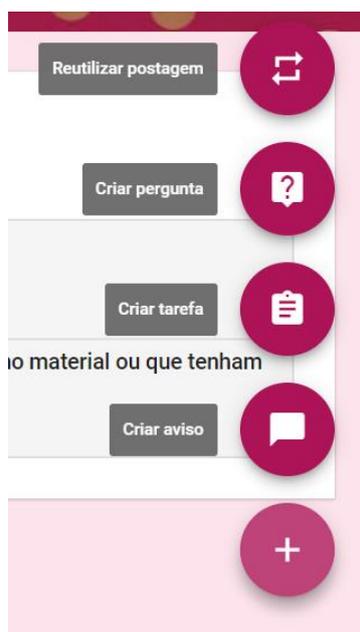
Permita que os alunos vejam ou editem o mesmo material ou que tenham uma cópia própria
Documentos Google

+

O primeiro item desta interface em destaque a cruz no canto inferior direito, clicando nela aparecerá algumas opções para iniciarmos atividades em nossa sala



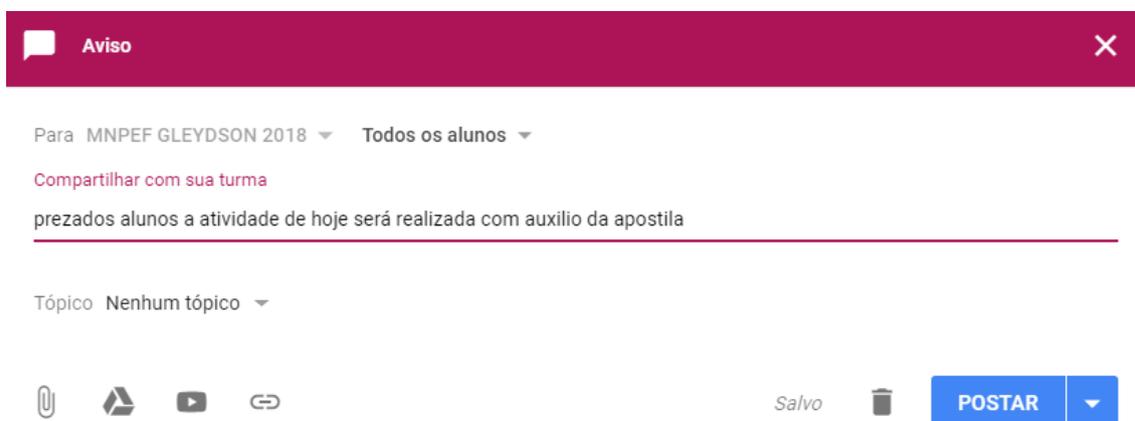
Então pode-se criar um aviso, criar uma tarefa, criar uma pergunta ou reutilizar uma postagem.



Criando um aviso

Clique em ,

Para habilitar a tela seguinte

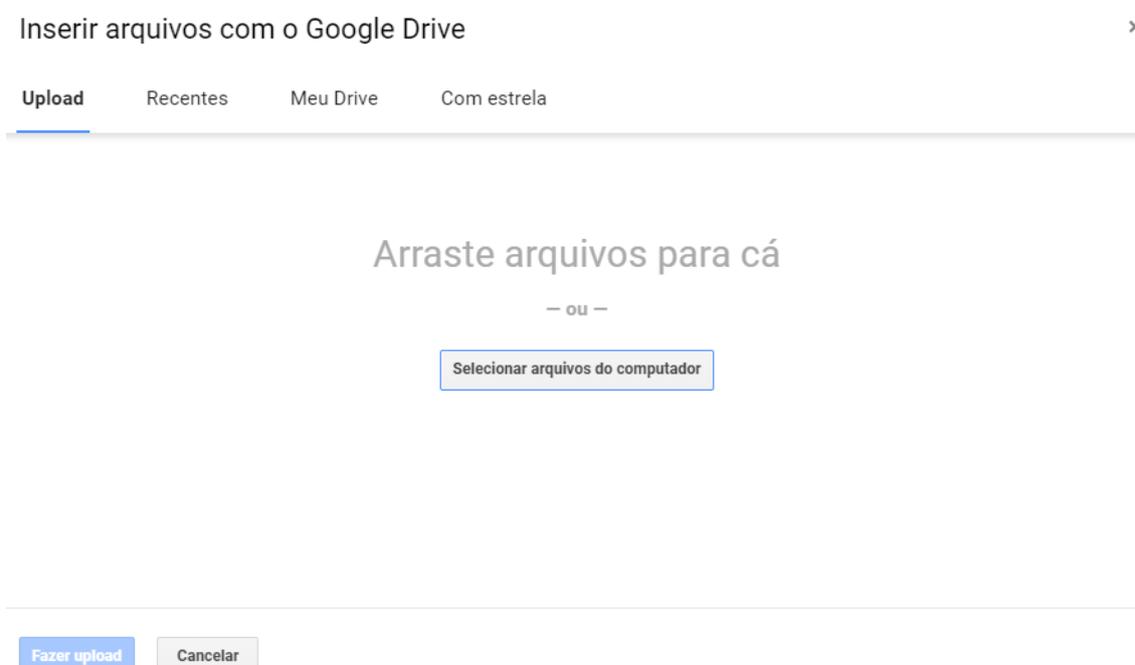


The screenshot shows a notification banner with a dark red header containing a speech bubble icon, the word "Aviso", and a close button (X). Below the header, the text reads: "Para MNPEF GLEYDSON 2018" and "Todos os alunos" with dropdown arrows. A link "Compartilhar com sua turma" is present. The main message states: "prezados alunos a atividade de hoje será realizada com auxilio da apostila". Below this, it says "Tópico Nenhum tópico" with a dropdown arrow. At the bottom, there are icons for attaching files, a video, and a link. On the right side, there are buttons for "Salvo", a trash icon, and a blue "POSTAR" button with a dropdown arrow.

Escreva o texto na caixa e clique em postar. Também é possível anexar arquivos, acessar o *drive* da turma, inserir um vídeo do *youtube* ou um *link* clicando nos respectivos ícones no canto inferior direito da caixa acima.

Anexando arquivo

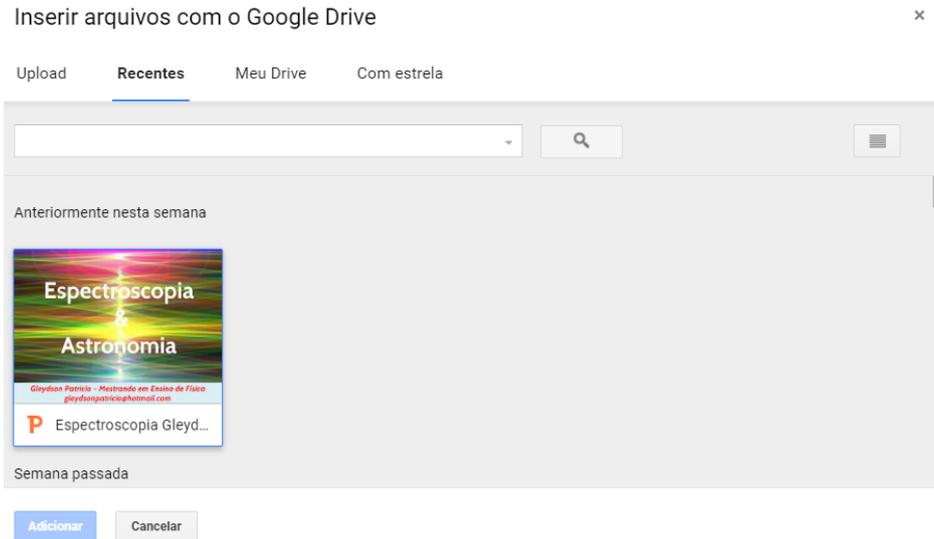
Clique no ícone  para abrir a tela selecionar o arquivo desejado, que pode estar no computador ou no *drive*.



The screenshot shows the "Inserir arquivos com o Google Drive" dialog box. It has a close button (X) in the top right corner. Below the title, there are tabs for "Upload", "Recentes", "Meu Drive", and "Com estrela". The main area contains the text "Arraste arquivos para cá" followed by "— ou —" and a button labeled "Selecionar arquivos do computador". At the bottom, there are two buttons: "Fazer upload" and "Cancelar".

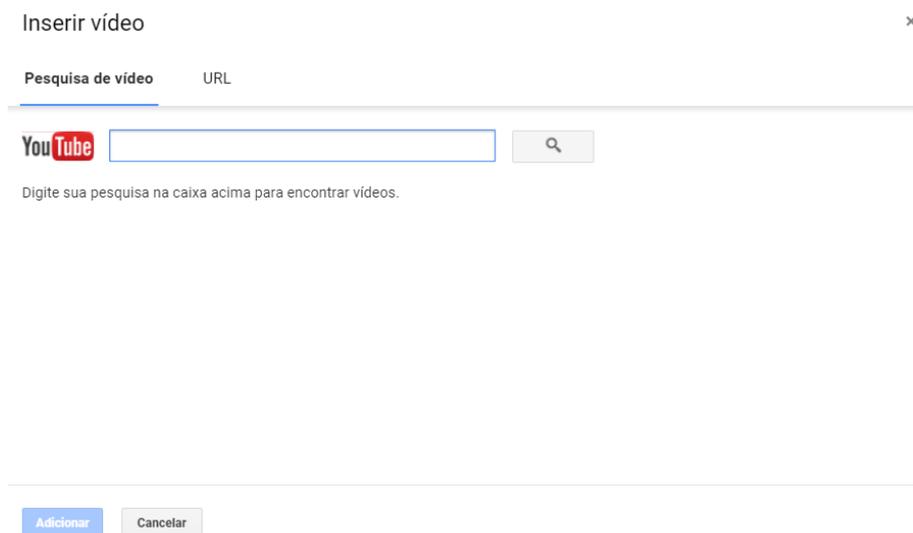
Enviando arquivo do drive

Clique no ícone , aparecerá os arquivos disponíveis no *drive*, neste caso há apenas um. Selecione-o e clique em adicionar. No caso de mais de um arquivo selecione todos desejados e clique em adicionar.



Inserindo vídeo do Youtube

Clique no ícone , na caixa de diálogo que irá se abrir você a opção de fazer a pesquisa por assunto selecionar o vídeo e em seguida clicar em adicionar, ou se você já tiver a URL do vídeo desejado clique na aba URL e digite ou cole URL e finalize em adicionar.



Inserir vídeo ×

Pesquisa de vídeo **URL**

Cole um URL do YouTube aqui:

Se seu URL estiver correto, uma visualização do vídeo será exibida aqui. Vídeos grandes podem levar alguns minutos para aparecer.

Lembre-se: usar vídeos de terceiros na Web sem permissão pode ser considerado um comportamento inadequado ou até uma violação de direitos autorais.

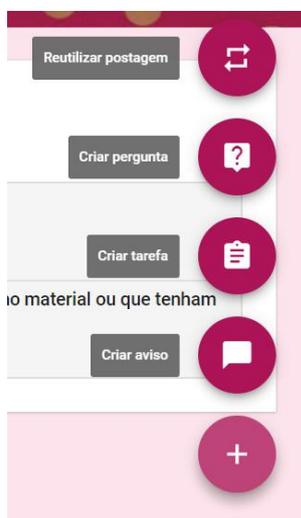
Adicionar Link

Clique no ícone  , aparecerá uma caixa de diálogo simples onde você deverá digitar o *link* e clicar em adicionar *link*.

Adicionar link

Link

Criando uma tarefa



Nesta etapa você pode criar um aviso, tarefa, pergunta ou reutilizar algo.

Na versão mais atualizada aparece um item a mais:

Criar trabalho com questionário.

Esta opção lhe fornece a possibilidade de enviar questionários via Google docs.

Neles você pode inserir imagens, vídeos nas perguntas que podem ser de múltipla escolha e correção automática. Conforme a figura a seguir.

Para 3A FM18 Todos os alunos

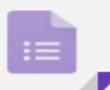
Título

Instruções (opcional)

Pontos 100

Data de entrega Sem data para conclusão

Tópico Sem tópico



Blank Quiz

Formulários do Google

Ver respostas



Atribuir



Clique na opção *Blank Quiz* formulários *Google*, para iniciar seu quiz. Lá você selecionará o título as instruções e poderá atribuir a pontuação que achar conveniente. Pode torná-lo obrigatório e definir a data máxima para realização.

PERGUNTAS

RESPOSTAS

Total de pontos: 0

Blank Quiz

Descrição do formulário



Untitled Question

 Escolha múltipla Option 1 Adicionar opção ou [ADICIONAR "OUTRA"](#) CHAVE DE RESPOSTAS (0 pontos)

Obrigatório



Neste caso estamos criando um questionário de múltipla escolha. Para a pergunta será inserida em “*Untitled question*” e inserimos as alternativas com apenas uma correta.

Para seleccionar a resposta correta clicamos em “CHAVE DE RESPOSTAS”. Então se abrirá esta nova tela onde clicamos na alternativa correta. E faremos isso em todas as perguntas que desejarmos inserir.

Total de pontos: **0**

Ondas eletromagnéticas

Descrição do formulário

Selecione as respostas corretas:⋮

As ondas de rádio, no vácuo, se movem com velocidade: 0 pontos

igual a do som

igual a da luz ✓

maior que a da luz

[✎ EDITAR PERGUNTA](#)

Escolha o tipo de questionário que deseja clicando na opção desejada:

Ondas eletromagnéticas

Descrição do formulário

⋮

As ondas de rádio, no vácuo, se movem com velocidade:

igual a do som

igual a da luz

maior que a da luz

Adicionar opção ou [ADICIONAR "OUTRA"](#)

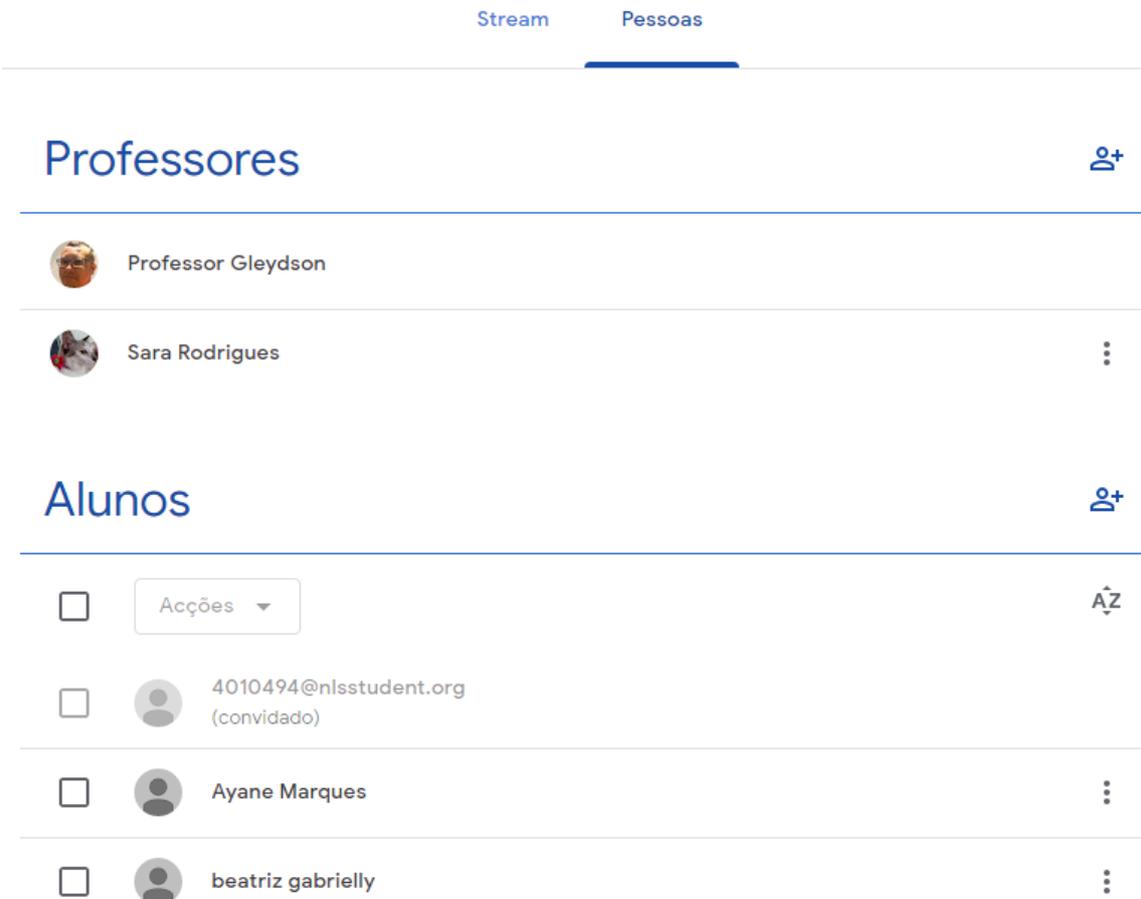
CHAVE DE RESPOSTAS (0 pontos)

- Resposta curta
- Parágrafo
- Escolha múltipla
- Caixas de verificação
- Pendente
-
- Carregar ficheiro
-
- Escala linear
- Grelha de escolha múltipla
- Grelha de caixas de verificação
-
- Data
- Hora

Convidando alunos

Na tela principal temos duas opções: *stream* e *pessoas*. A *stream* serve para administrar os conteúdos enquanto que a opção *pessoas* usamos para gerenciar alunos e professores.

Para adicioná-los basta clicar no ícone  , irá abrir uma caixa de diálogo solicitando o *e-mail* da pessoa, após inserir clique em enviar e pronto. Assim que a pessoa aceitar o convite estará com todo o conteúdo postado disponível.



Stream Pessoas

Professores

 Professor Gleydson

 Sara Rodrigues 

Alunos

Acções ▾ 

 4010494@nlsstudent.org
(convidado)

 Ayane Marques 

 beatriz gabrielly 

Aqui foram apresentadas apenas as funcionalidades básicas do *Google Classroom*. A plataforma, porém, oferece muito mais. No entanto, neste texto estão sendo abordados os primórdios para quem nunca as utilizou. Caso você possua interesse em se aprofundar no assunto uma boa sugestão é fazer o curso que pode ser feito pela empresa *Google*.

Disponível em:

https://teachercenter.withgoogle.com/certification?_ga=2.137199984.1322451656.1547386621-1836699474.1547386621.

O curso é gratuito, você paga apenas pela certificação que é feita pela própria empresa.

Apêndice 2

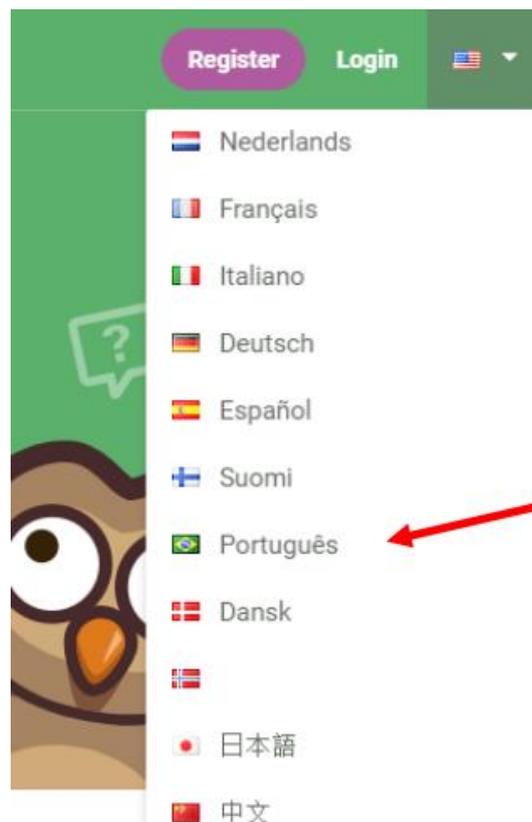
Criando Quiz online (múltipla escolha)

Acesse o endereço <https://www.onlinequizcreator.com/>

Abrirá a seguinte tela:

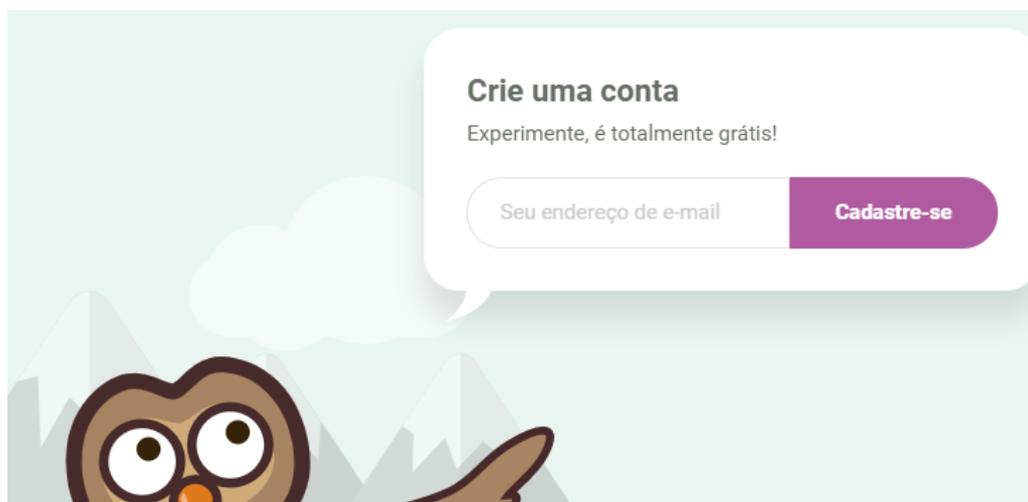


Primeiro passo é colocar o site em português clicando no icone superior direito.



Clique na bandeira do Brasil e pronto.

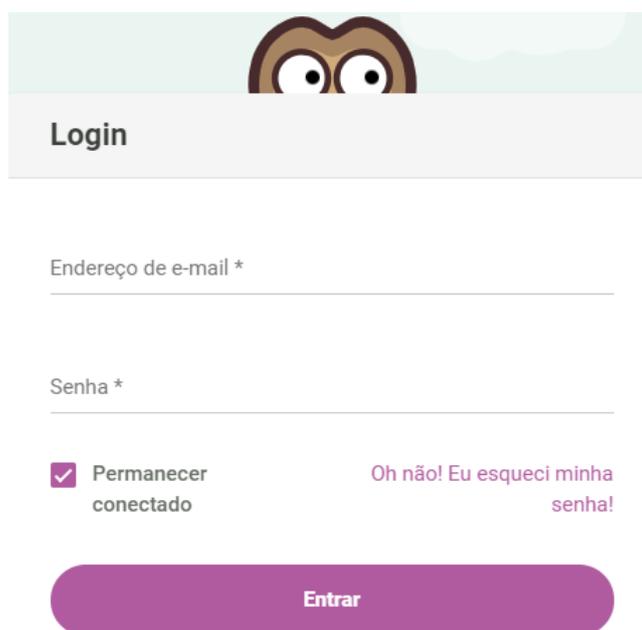
Role a página até o fim e acesse criar uma conta grátis, e digite seu e-mail.



Após o passo anterior aparecerá 4 planos pagos com os seus respectivos serviços disponíveis pelo site. Na parte inferior há um serviço gratuito, o que foi utilizado aqui, selecione-o clicando em “começar teste grátis”.

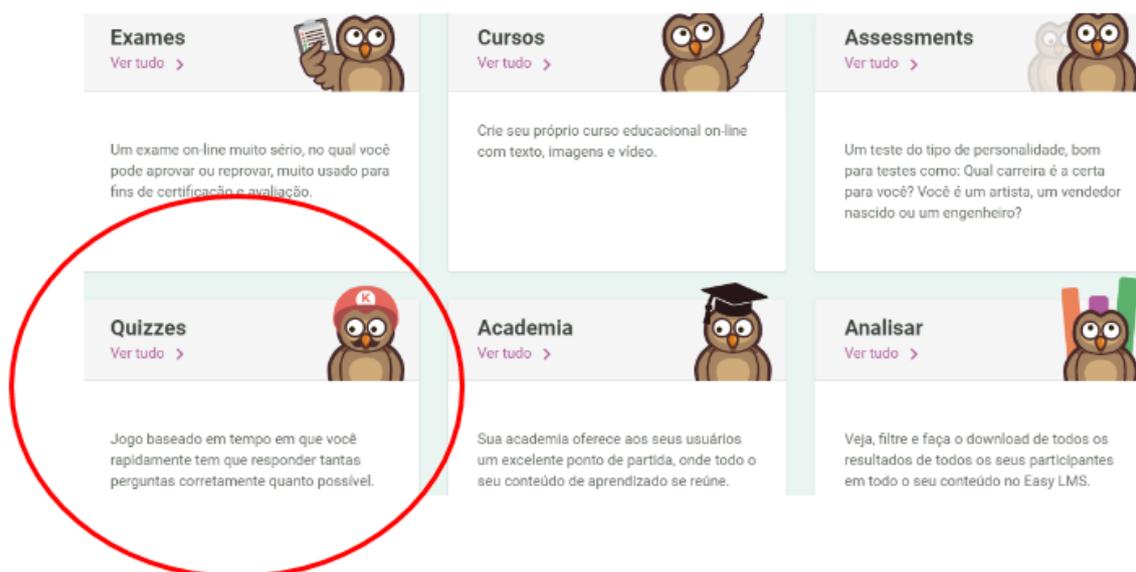
A screenshot of the Tiny Owl pricing page. On the left, it says "Tiny Owl" and "\$ 0 /mo" in large font, with "Our free solution" below it. On the right, there is a list of features with green checkmarks: "Quizzes ilimitados", "15 questões por quiz", "100 participações por mês", "Tipos de questões: Múltipla Escolha, Questão aberta, Preenchimento de espaços em branco", "Sem suporte!", and "Adaptável para dispositivos móveis". Below the list is a green circle with a white plus sign, and a grey button labeled "Começar meu teste grátis".

Após fazer o cadastro clique LOGIN para acessar, aparecerá a seguinte tela:



The login form features a header with a cartoon owl icon. Below the header, the word "Login" is displayed. The form includes two input fields: "Endereço de e-mail *" and "Senha *". A checkbox labeled "Permanecer conectado" is checked, and a link "Oh não! Eu esqueci minha senha!" is visible. A purple "Entrar" button is at the bottom.

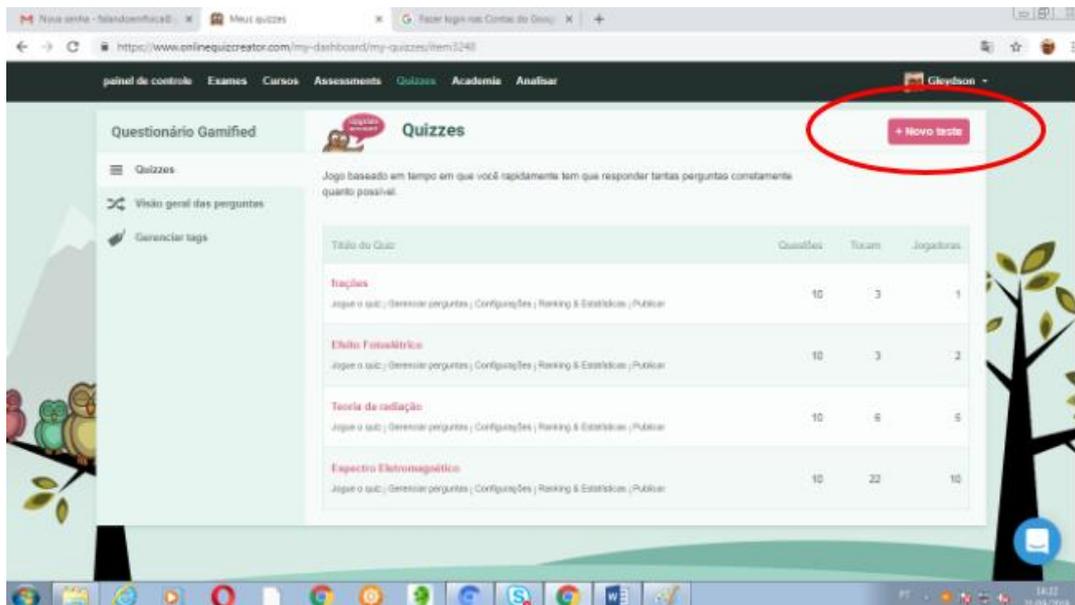
Após efetuar o login aparecerão as seguintes opções:



The dashboard menu consists of six cards, each with an owl icon and a description. The "Quizzes" card is circled in red. The cards are: "Exames" (exam), "Cursos" (courses), "Assessments" (tests), "Quizzes" (time-based game), "Academia" (academy), and "Analisar" (analyze results).

Clique na opção Quizzes localizada no canto inferior esquerdo.

Na tela da opção Quizzes, observem que neste caso já existem quizzes feitos.



Então para criar um novo quizz clique em “+ Novo Teste” no canto superior direito. Em seguida será solicitado o título do novo teste.



Após a escolha do título, neste caso foi escolhido “criando um quiz”. Como aparece na figura abaixo juntamente com a URL do quiz para acessá-lo quando estiver finalizado. Você deve clicar em “+ Nova pergunta”.



No canto esquerdo há possibilidades de quis com: múltipla escolha, preencher espaço em branco e com imagens.

Aqui abordaremos o quis de múltipla escolha.

Cada pergunta do quiz possui uma alternativa correta e três erradas conforme a figura abaixo.

The screenshot shows a quiz creation interface titled "Questão 1". On the left is a sidebar with navigation options: "Voltar às perguntas", "Múltipla escolha" (selected), "Preencha os espaços em branco", and "Imagem" (with sub-options for "Pequenas imagens", "Imagens médias", and "Imagens grandes"). The main area contains a form for creating a question. It starts with a "Pergunta *" field containing the placeholder text "Question". Below this are three sections for answers: "Resposta correta" with a field containing "Correct answer", "Resposta errada 1" with a field containing "Wrong answer 1", "Resposta errada 2" with a field containing "Wrong answer 2", and "Resposta errada 3" with a field containing "Wrong answer 3". At the bottom of the form are two buttons: "Salve" on the left and "+ Adicionar pergunta" on the right. The top right corner of the interface has a link that says "Jogue o quiz >".

O primeiro espaço em branco deve estar a pergunta, cuidado para não fazer uma pergunta muito longa, pois mais na frente vamos regular o tempo para realização do quis e a estética também não fica muito legal.

O segundo espaço em branco é o da resposta correta, não se preocupe com isso pois ao iniciar o quis o sistema se encarrega de embaralhar as respostas.

Os demais são respostas erradas e tanto faz a ordem.

Na parte inferior há dois botões: no lado direito o botão “+Adicionar perguntar”, para você inserir as próximas perguntas da mesma forma que criou a primeira e o botão “Salve” no lado esquerdo para você obviamente salvar sua pergunta e seu quiz.

Clique na barra de ferramentas em “Quizzes” e você verá seu novo quiz pronto para jogar.

painel de controle Exames Cursos Assessments **Quizzes** Academia Analisar 

Home > Dashboard > Quizzes

Questionário Gamified  **Quizzes** [+ Novo teste](#)

Quizzes

- Visão geral das perguntas
- Gerenciar tags

Jogo baseado em tempo em que você rapidamente tem que responder tantas perguntas corretamente quanto possível.

Título do Quiz	Questões	Tocam	Jogadoras
criando um quiz Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	1	0	0
frações Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	3	1
Efeito Fotoelétrico Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	13	9
Teoria da radiação Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	7	6
Espectro Eletromagnético Jogue o quiz Gerenciar perguntas Configurações Ranking & Estatísticas Publicar	10	39	16

Para jogar basta clicar no título do quiz.

Para enviá-lo para outras pessoas jogar, copie a URL e envie para quem desejar.

Ao clicar no título do quiz, aparecerá inicialmente a tela:

Questionário Gamified  **Painel de questionários** [Jogue o quiz >](#)

[+ Nova pergunta](#)

Sobre

Título do Quiz	criando um quiz
URL	https://www.onlinequizcreator.com/criando-um-quiz/quiz-404723
Quadro de líderes autônomo	/index.php?=quiz/leaderboard&id=404723&language=en
Número de perguntas	1

As opções listadas no lado esquerdo, são as opções avançadas, vou destacar apenas as que considero importantes para iniciar um quiz sem muita complexidade:

A opção questões:



serve para adicionar, editar ou excluir uma pergunta a um quiz já elaborado.

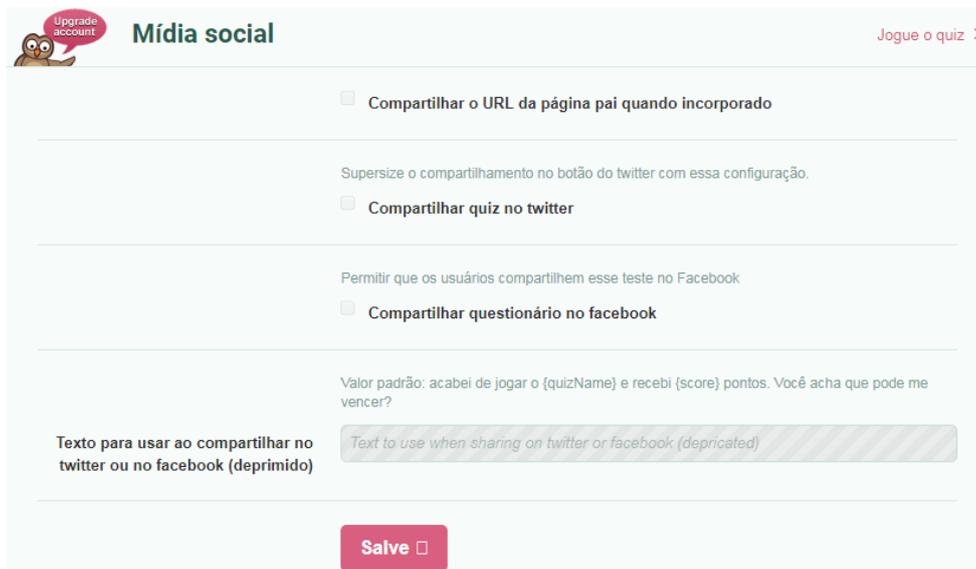
Há também a possibilidade de exportar perguntas, neste caso ela será enviada a uma planilha.

Na opção Definições:

As possibilidades são: alterar o tempo de realização do teste, o idioma, o botão de início do teste e o ranking dos usuários.

Na opção Layout e estilos: formatação do quiz.

Na opção Mídia social:



Você pode utilizar para compartilhar a URL do quiz nas principais redes sociais.

As outras opções são mais avançadas e não precisam ser alteradas por usuários iniciantes e em quizzes básicos.

Apêndice 3

Teste 1

- 1) Qual a sua opinião sobre os conteúdos passados pelos professores em sala de aula?
- 2) Qual a sua opinião sobre o professor que entende e usa tecnologias digitais nas aulas?
- 3) O que você acha das aulas que tem na sua escola? O que você acha que deveria mudar nas aulas para poder melhorar?
- 4) Qual a sua maior dificuldade nas aulas e na aprendizagem de Física?
- 5) Os exemplos que os professores usam esclarecem os temas ou os deixam mais complicados?
- 6) Nos livros e na internet facilmente podemos encontrar a temperatura do Sol. Como você acha que ela foi calculada?
- 7) O que você entende sobre radiação eletromagnética?
- 8) Você saberia dizer qual o fenômeno que ocorre quando colocamos um sensor de para funcionar usando a energia solar?
- 9) A maioria dos metais quando aquecido próximo ao seu ponto de fusão (passagem para o estado líquido), ficam incandescentes (brilham), o que ocorre em sua opinião?
- 10) Você utiliza o livro didático? Porquê?

Apêndice 4

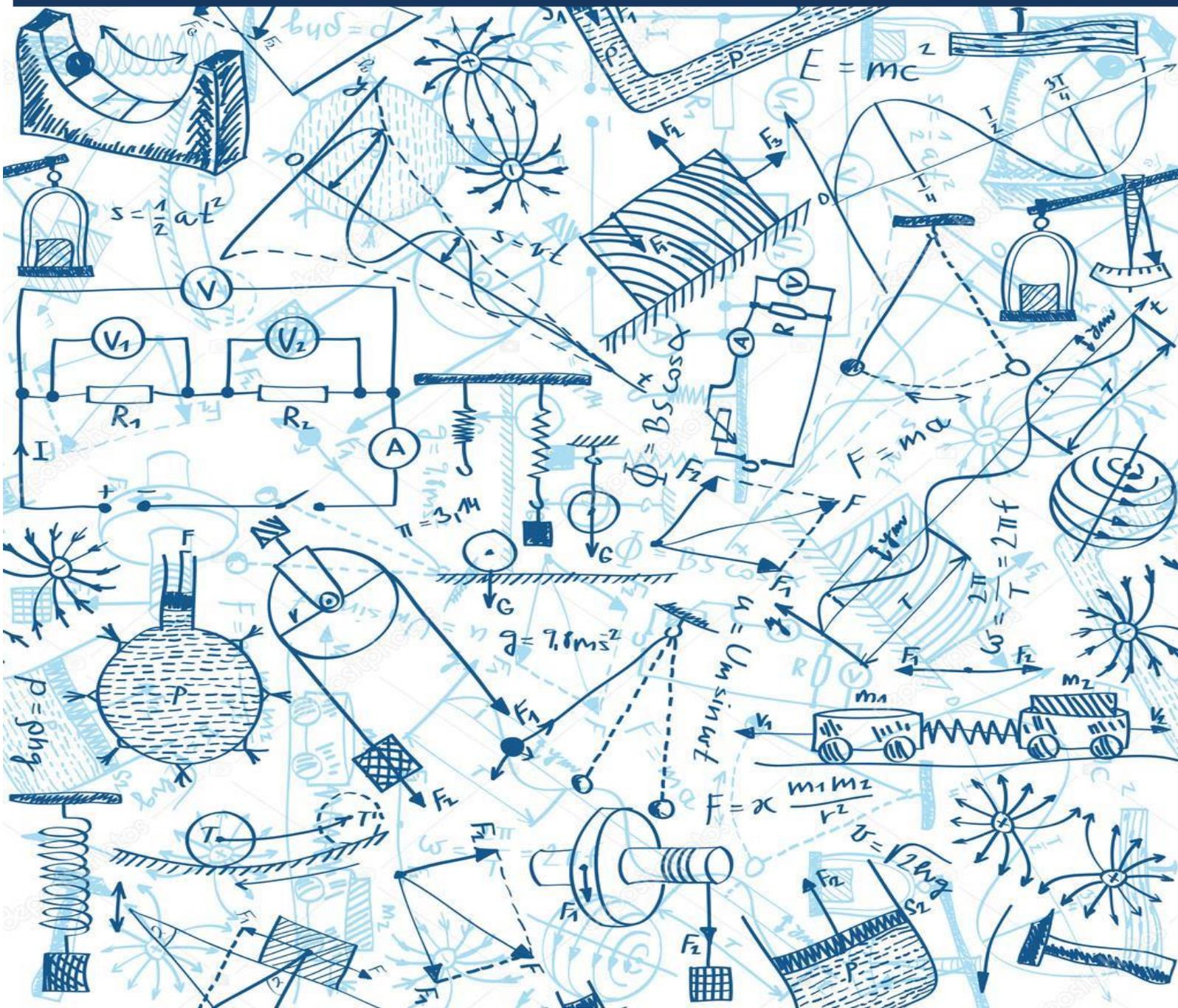
Verificação de Aprendizagem

- 1- As ondas de rádio se propagam com a rapidez do som, com a rapidez da luz ou com alguma rapidez intermediária?
- 2- As faixas de frequências das estações de rádio FM, estão entre 88 MHz e 108 MHz. Quais são os comprimentos de onda correspondentes nas extremidades da faixa? Obs: $1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$.
- 3- O que é um corpo negro? Qual a sua cor?
- 4- Explique as diferenças entre a Teoria Clássica (Rayleigh-Jeans) e a Teoria Quântica (Planck) na explicação da radiação de cavidade.
- 5- Ao olhar o céu através de um telescópio você consegue observar duas estrelas aparentemente com as mesmas dimensões e brilho, mas diferindo apenas na cor, uma é azul e a outra amarela. É possível afirmar algo sobre as temperaturas superficiais delas? Baseado em que você justifica sua resposta?
- 6- Um corpo a uma temperatura de 1000K possui radiância igual a $R=5,67 \cdot 10^4 \text{W/m}^2$. Se duplicarmos essa temperatura o valor da nova radiância irá aumentar ou diminuir? Para quanto?
- 7- Considere dois canhões de laser com mesma potência, mesmo tamanho, feitos muito idênticos, com apenas uma diferença: um possui feixe verde e o outro violeta. É possível dizer qual dos dois é mais energético? Qual deles? Por quê?
- 8- Existem diferenças entre as quantizações de Planck e a de Einstein? Quais?
- 9- Quais dos dois são bem mais sucedidos em desalojar elétrons da superfície de um metal, os fótons da luz ultravioleta ou os da luz vermelha? Por quê?
- 10- Um feixe de fótons com comprimento de onda de 600nm incide sobre uma superfície polida de cobre Cu que possui a função trabalho igual a 4,70 eV. Nessas condições diga se ocorrerá o efeito fotoelétrico. Considere a constante de Planck igual a $4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}$ e justifique a sua resposta.

Apêndice 5

Apostila de Introdução a Física Moderna

FÍSICA MODERNA



PROFESSOR: GLEYDSON PATRÍCIO

Sumário

Introdução.....	04
Radiação e Espectro Eletromagnético.....	04
Emissão e Absorção da Energia Radiante.....	07
Radiação do Corpo Negro.....	09
A Lei do deslocamento de Wien.....	10
A Lei de Stefan-Boltzmann.....	13
Teoria Clássica da Radiação.....	18
Teoria Quântica de Planck.....	20
Efeito Fotoelétrico.....	26
Testes de Vestibulares	38
Gabaritos.....	51
Referências Bibliográficas.....	52

Introdução

Apresentaremos aqui uma introdução ao estudo da Radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico, com exercícios resolvidos e propostos. Este material serve de complementação as aulas ministradas em sala de aula e pode ser utilizado por alunos e professores.

Indo ao shopping, à escola ou ao trabalho é comum encontramos aparelhos eletrônicos em nosso dia a dia. Na prática utilizamos, mas não percebemos a tecnologia ao redor por achar tudo normal, como portas que se abrem como nossa aproximação, sensores que acionam luzes na presença de algum corpo, binóculos que enxergam no escuro, máquinas industriais que param de funcionar na presença de um corpo evitando acidentes, sem contar com a comunicação que hoje é quase instantânea, mesmo se o receptor da mensagem estiver do outro lado do mundo. O rádio, a TV, o *bluetooth* e as redes *wireless*, funcionam de acordo com o mesmo princípio básico: a Radiação Eletromagnética.

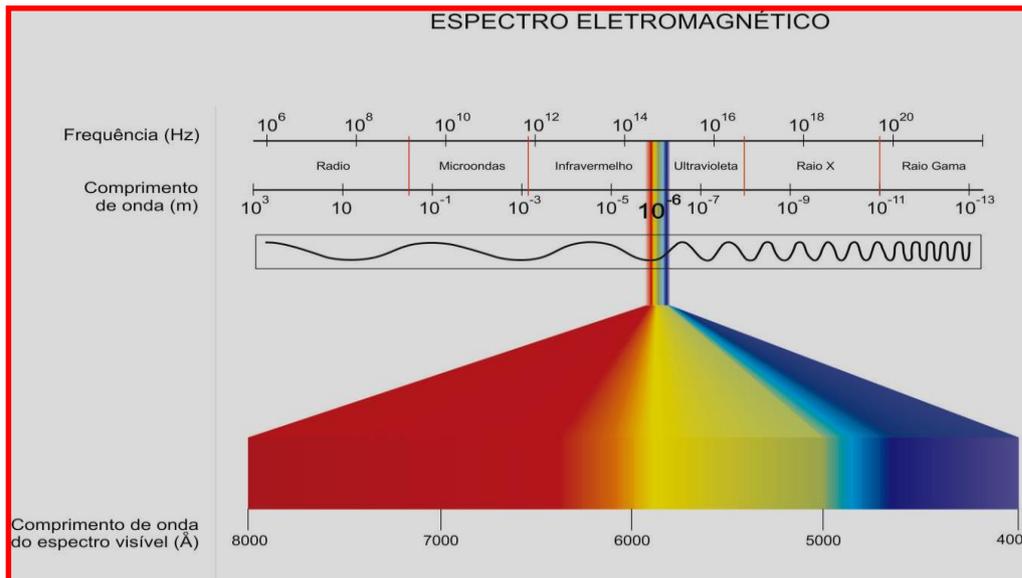
Radiação Eletromagnética

É a transmissão de energia sob a forma de ondas eletromagnéticas. Como as ondas transportam energia, essa radiação é também chamada de “**energia radiante**”.

O Espectro Eletromagnético

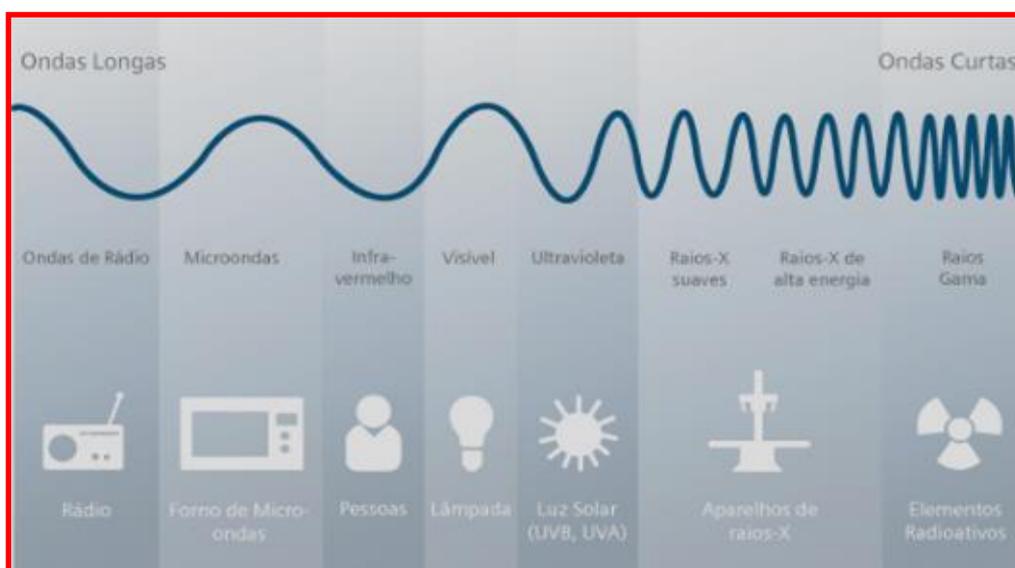
É a classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência ou comprimento de onda.





A frequência é uma característica intrínseca da radiação eletromagnética. Um erro comum é chamar apenas a frequência que está na região do infravermelho de “**radiação térmica**”. Já que, todo o espectro emite esse tipo de radiação.

O comprimento de onda também é próprio de cada tipo de onda. Eles podem ser curtos ou longos. Cada tipo têm uma aplicação peculiar, como na figura abaixo.

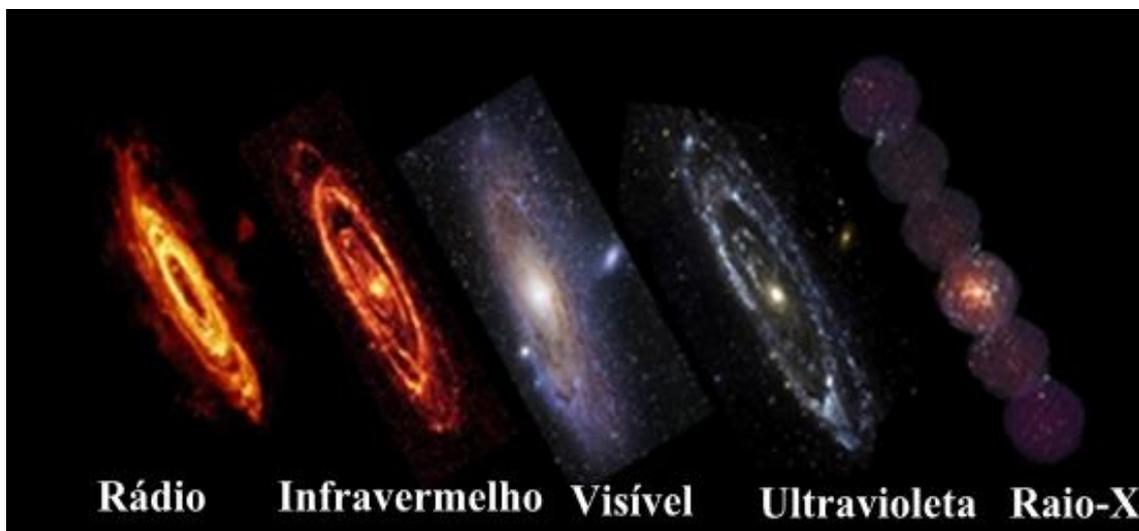


A frequência (f) e o comprimento de onda (λ) estão relacionados de acordo com a equação $c = \lambda \cdot f$. Sendo “ c ”, a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e que **no vácuo é constante e igual a $3 \cdot 10^8$ m/s.**

O Espectro Eletromagnético na Astronomia

Os nossos olhos são capazes de enxergar apenas a radiação eletromagnética que está compreendida na região do espectro visível, luzes com frequência na ordem de 10^{15} Hz.

Diversos corpos celestes não estão numa frequência visível. Por isso, a astronomia desenvolveu métodos para enxergar as outras frequências do espectro eletromagnético. Abaixo segue uma ilustração do mesmo corpo celeste em diferentes frequências do espectro.



Quando enxergamos algo verde, por exemplo, é porque aquele corpo está absorvendo a luz incidente (branca) sobre ele e refletindo ondas eletromagnéticas (LUZ) na frequência da luz verde.

Observação:

- ✚ *Frequências são medidas em Hz (Hertz) que equivalem a s^{-1} .*
- ✚ *Comprimentos de onda em m (metros). Quando as ondas são muito curtas, (altas frequências), é comum usar submúltiplos. Como o **nanômetro** = $10^{-9}m = 10nm$. e o **Ångström** (Å) = $10^{-10}m$.*

Emissão e Absorção da Energia Radiante

Os corpos podem emitir ou absorver energia dependendo do meio onde eles se encontram e de suas características próprias da matéria.

- Todo o corpo que está acima do “**zero absoluto**”, 0K ou (-273°C), emite energia radiante.
- Todo material que é bom emissor também é um bom absorvedor, caso contrário, um corpo que é mau emissor e bom absorvedor aumentaria sua temperatura ilimitadamente no decorrer do tempo.
- Quando a taxa de absorção é igual à taxa de emissão, o corpo está em equilíbrio térmico (nem esfria e nem esquenta).

Como assim?

1- Se um bom absorvedor de energia radiante fosse um mau emissor, como sua temperatura se compararia com a temperatura de sua vizinhança?

Resposta:

Se um bom absorvedor não fosse também um bom emissor, haveria uma absorção líquida de energia radiante e a temperatura do absorvedor se manteria mais elevada do que a da vizinhança. As coisas ao nosso redor se aproximam de uma temperatura comum somente porque os bons absorvedores são também, por sua própria natureza, bons emissores.



Imagine a possibilidade de um corpo ser um mau absorvedor e bom emissor. Qual seria a consequência disso no decorrer de um intervalo de tempo muito grande?

Exercícios de Fixação

1) As radiações eletromagnéticas, tais como ondas de rádio, luz visível, raios x, raios gama, têm em comum no vácuo:

- a) a amplitude
- b) a velocidade
- c) a frequência
- d) o comprimento de onda
- e) o período

2) (Petrobras/cespe2008) As ondas eletromagnéticas são caracterizadas por suas frequências, seus comprimentos de onda e velocidade de propagação. Essas ondas decorrem de campos elétrico e magnético variáveis. Sobre as ondas ou radiação eletromagnética pode-se afirmar que:

- a) elas se comportam como ondas mecânicas e necessitam de um meio material para se propagarem;
- b) quando a onda passa do ar para a água, sua frequência diminui;
- c) elas têm um comportamento dual, ou seja, se comportam como onda e como partícula;
- d) quando uma luz verde incide sobre uma flor, que apresenta coloração vermelha sob incidência de luz branca, essa flor apresenta coloração verde;
- e) uma onda de rádio é uma onda mecânica transversal.

3) Nossa pele possui células que reagem à incidência de luz ultravioleta e produzem uma substância chamada melanina, responsável pela pigmentação da pele. Pensando em se bronzear, uma garota vestiu um biquíni, acendeu a luz de seu quarto e deitou-se exatamente abaixo da lâmpada incandescente. Após várias horas ela percebeu que não conseguiu resultado algum. O bronzeamento não ocorreu porque a luz emitida pela lâmpada incandescente é de

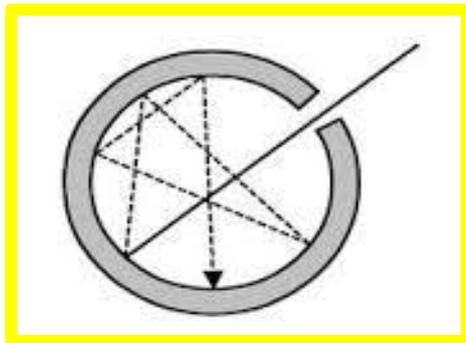
- a) baixa intensidade.
- b) baixa frequência.
- c) um espectro contínuo.
- d) amplitude inadequada.
- e) curto comprimento de onda.

Radiação do Corpo Negro

Após a revolução industrial nos meados do século XIX, a termodinâmica estava muito bem desenvolvida e os estudos dos fenômenos térmicos estavam em alta, assim como a teoria eletromagnética de Maxwell praticamente finalizada. Parecia que a Física estava colocando as últimas peças no quebra-cabeça. Mesmo assim, existiam dois problemas que os cientistas não conseguiam explicar; a incandescência de um corpo aquecido e a emissão de elétrons por um metal irradiado com luz. No final do século o físico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) interessado no estudo da radiação solar, propôs alguns postulados que serviram para o desenvolvimento no estudo da energia radiante. Contribuindo assim para a resolução da primeira problemática.

Kirchhoff imaginou um corpo “*ideal*” para estudar a radiação eletromagnética e o chamou de **CORPO NEGRO**.

“A melhor idealização para um corpo negro é um corpo com uma cavidade, oco, com um pequeno orifício por onde incide a radiação que é completamente absorvida após sucessivas reflexões no seu interior. Esta muitas vezes é chamada de radiação de cavidade, mas lembre-se que, é o espectro emitido pelo buraco da cavidade e que especificado em termos do fluxo de energia R .”



**R é a densidade de energia.
O número de ondas por unidade de volume.**

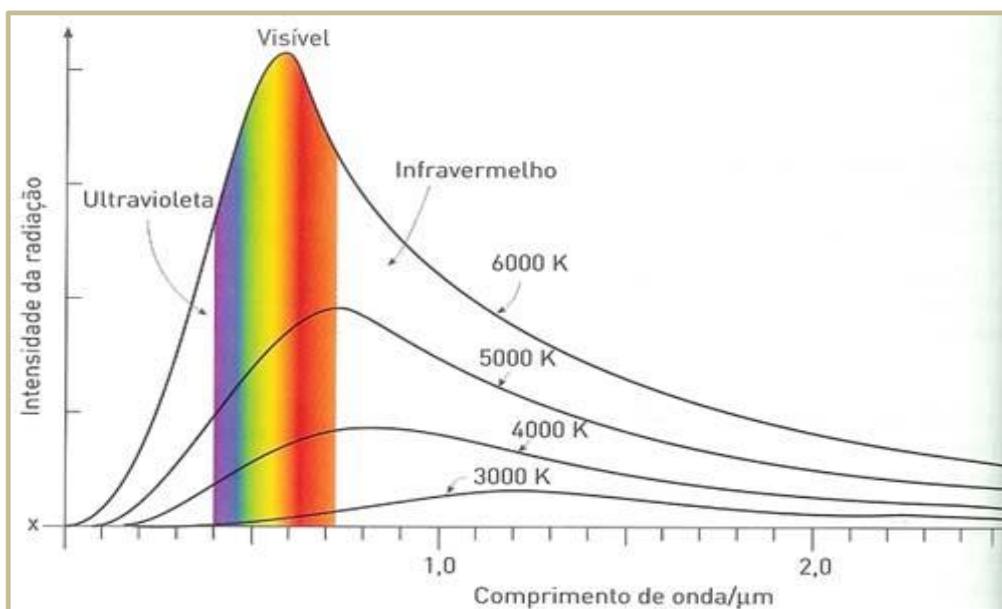
Observações:

- O **Corpo Negro** é uma **idealização**, um corpo **perfeito** para o estudo da radiação.
- Corpos reais podem ser bons e maus emissores e absorvedores, se aproximando de corpos negros.
- O termo NEGRO foi dado inicialmente, mas o corpo não precisa ter esta cor, apenas estas características.

A Lei do deslocamento de Wien

A Lei de Wien foi estabelecida em 1897, *experimentalmente*, ela trata da intensidade da radiação em função do comprimento de onda.

As isotermas de distribuição espectral (curva de intensidade de radiação em função do comprimento de onda a uma temperatura fixa) possuem um “*pico*” para cada temperatura à medida que altera a temperatura *o pico se desloca* fornecendo um “*comprimento de onda máximo*” λ_{\max} , como mostra a figura abaixo.



A relação entre o comprimento de onda máximo e a temperatura, obtida por Wien, é dada por:

$$\lambda_{\max} = \frac{0.0028976}{T}$$

Observação:

A temperatura deve estar medida na escala Kelvin

Aplicação da Lei de Wien

Comumente podemos encontrar em alguns livros e sites o valor da temperatura do Sol. Mas como isso é feito?

Bem, o Sol é uma estrela, e as estrelas se comportam como um Corpo Negro. Além disso, também conhecemos o valor do comprimento de onda da luz solar que igual a $\lambda_{\text{máx}} = 510\text{nm}$. (Lembre-se que $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$)

A partir disto, usamos a Lei de Wien e obtemos a temperatura da estrela, como mostrado abaixo.

$$\lambda_{\text{máx}}.T = 0,002898$$

$$T = 0,002898 / 510.10^{-9}$$

$$T = 5700\text{K} \quad \text{ou} \quad T = 5973 \text{ }^{\circ}\text{C} ,$$

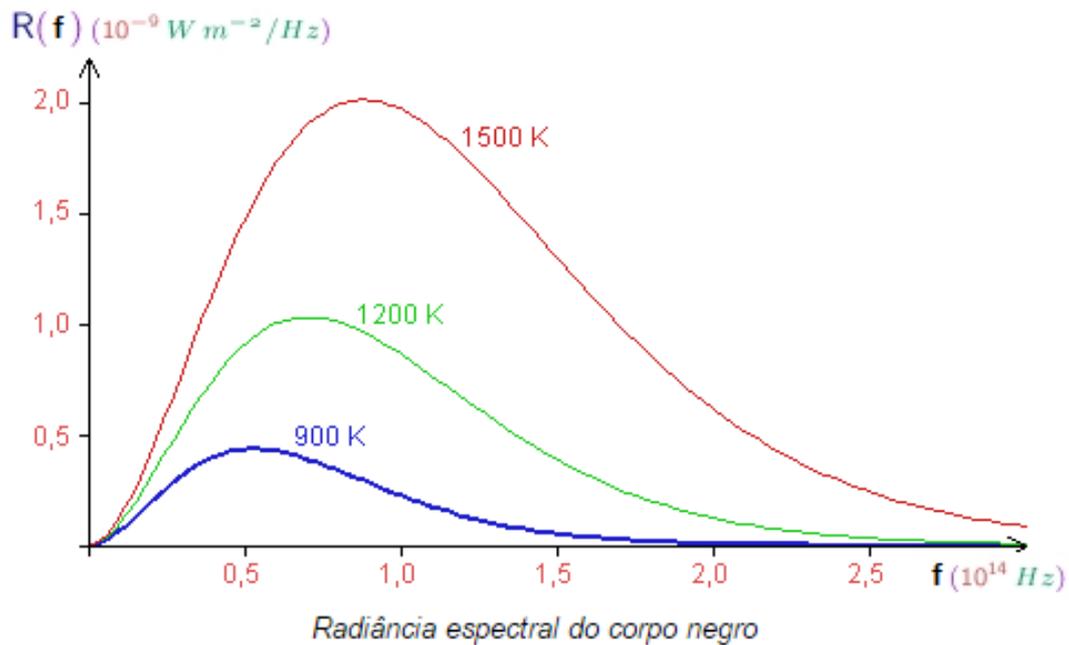
“Os valores mostrados em livros é de aproximadamente $6000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ”.

Testando seus conhecimentos

A Estrela do Norte (Estrela Polar), possui o comprimento de onda máximo igual a $\lambda_{\text{máx}} = 350\text{nm}$. Determine a temperatura dessa estrela. Use a tabela abaixo e diga aproximadamente a cor da estrela e compare cor e temperatura com o Sol.

Cor	Comprimento de onda ($\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$)	Frequência (10^{14}Hz)
Violeta	3900 - 4500	7,69 - 6,65
Anil	4500 - 4550	5,65 - 6,59
Azul	4550 - 4920	6,59 - 6,10
Verde	4920 - 5770	6,10 - 5,20
Amarelo	5770 - 5970	5,20 - 5,03
Alaranjado	5970 - 6220	5,03 - 4,82
Vermelho	6220 - 7800	4,82 - 3,84

Interpretando o gráfico de intensidade de radiação em função da frequência de onda a uma dada temperatura.



1. Existe pouca potência irradiada para intervalos pequenos de frequência. (potência nula para $f=0$);
2. A potência irradiada cresce rapidamente à medida que a frequência cresce, até o ponto máximo;
3. Cada curva (isoterma) apresenta um único ponto de máximo;
4. Após o ponto máximo, a irradiância diminui lenta e continuamente com o aumento da frequência;
5. A potência irradiada em todas as frequências cresce com o aumento da temperatura.

A Lei de Stefan-Boltzman

Em 1879, considerando o conceito de corpo negro de Kirchhoff, o físico Josef Stefan (1835-1893) analisando dados experimentais, desenvolveu empiricamente uma lei para a radiância em função da temperatura, que diz:

"A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura".

$$I = \sigma \cdot T^4$$

sendo,

I → *potência total irradiada por unidade de área superficial [W/m²]*

T → *temperatura da superfície [K]*

σ → *constante de Stefan-Boltzmann*

A constante recebeu esse nome porque em 1884, o físico Ludwig Boltzmann (1844-1906) que era aluno de Stefan, usando argumentos termodinâmicos conseguiu demonstrar a equação acima e calcular o valor de $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Nota:

A emissividade (e) de um corpo qualquer é uma grandeza adimensional, tal que $0 < e < 1$. Assim: a emissividade de um corpo negro $e_{cn} = 1$, pois é um emissor perfeito. Caso fosse um absorvedor perfeito a emissividade seria nula. Quando consideramos a emissividade de um corpo para a potência total irradiada a expressão fica:

$$I = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

A emissividade mostra que uns corpos são capazes de irradiar mais que outros devido a sua natureza.

Exemplos comentados:

Exemplo 1

(Esal-MG) A interpretação da Lei de Stefan-Boltzmann (radiação) nos permite concluir que:

- a) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta.
- b) os corpos só emitem energia radiante a uma temperatura acima de 0°C (273K)
- c) a energia radiante emitida por um corpo depende da emissividade do corpo e da temperatura absoluta do corpo elevado à quarta potência.
- d) um corpo à temperatura de 0°C (273K) não emite energia radiante.
- e) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta ao quadrado.

Comentários:

A Lei de Stefan-Boltzmann diz que:

“A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura”.

Concluimos que as alternativas A e E estão incorretas, pois não é proporcional a temperatura e nem ao quadrado dela. E sim, a quarta potência.

O que há de errado com as alternativas B e D?

Quando estudamos a emissão da energia vimos que

“Todo corpo que está acima do “zero absoluto”, 0K ou (-273°C) , emite energia radiante”.

Logo, um corpo a 0°C já emite energia radiante.

Resposta correta alternativa C.

Exemplo 2

a) Calcule a razão entre as energias irradiadas por um corpo negro a 327°C e a 927°C.

b) Se ao invés de um corpo negro tivermos um corpo qualquer, com $e = 0,4$ qual seria o resultado do item a)?

Comentários:

A energia irradiada de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann é:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Como temos um corpo com duas temperaturas vamos fazer referência as temperaturas da seguinte forma:

Corpo com temperatura 1 = 327°C = 600K

Corpo com temperatura 2 = 927°C = 1200K

✓ A temperatura deve estar na escala absoluta (Kelvin)

A razão entre as energias irradiadas I_1 / I_2 é igual a razão entre as temperaturas a quarta potência.

$$I_1 / I_2 = \sigma \cdot T_1^4 / \sigma \cdot T_2^4$$

$$I_1 / I_2 = (600/1200)^4$$

$$I_1 / I_2 = 1/16$$

Quando consideramos a emissividade de um corpo temos que:

$$I = e \cdot \sigma \cdot T^4$$

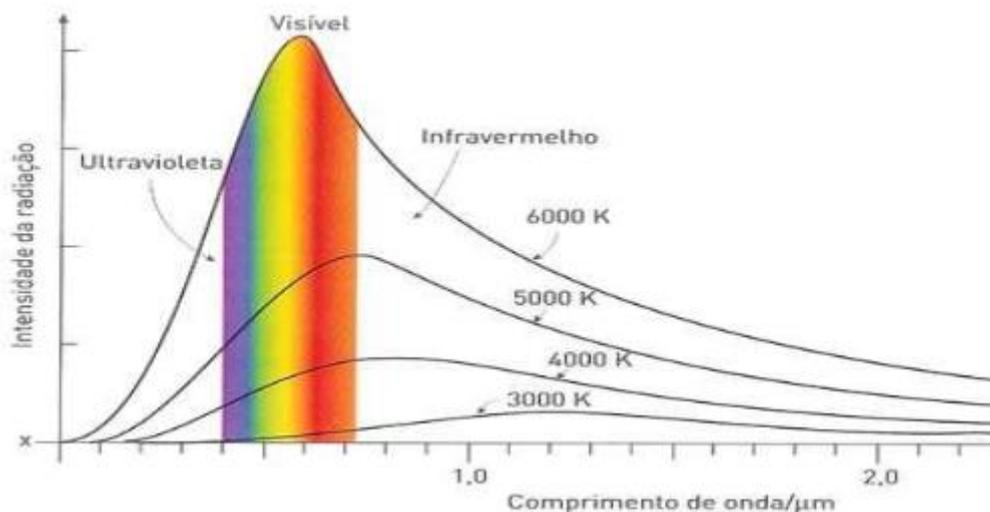
Desta forma podemos escrever que:

$$I_1 / I_2 = e \cdot \sigma \cdot T_1^4 / e \cdot \sigma \cdot T_2^4$$

$$\text{Logo, } I_1 / I_2 = 1/16$$

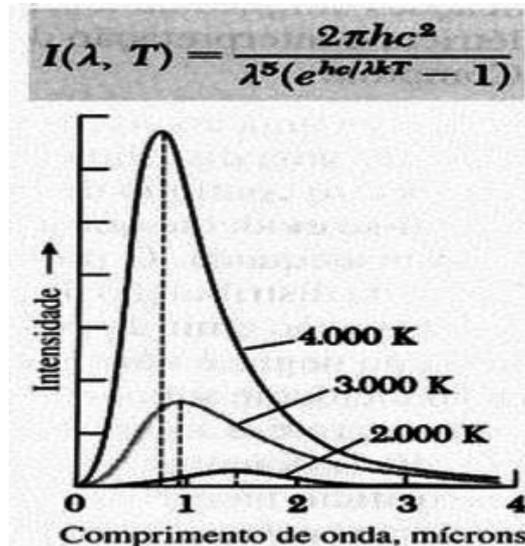
Exercícios de Fixação

- 4) Considere o uso da Lei de Wien ($T \cdot \lambda_{\text{máx}} = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{m.K}$) válido aproximadamente para a humana. Admita a temperatura da pele 37°C .
- a) Determine o comprimento de onda dessa radiação. Diga se está na faixa do visível (400nm a 700nm).
- 5) Considere a seguinte imagem que relaciona a intensidade da radiação irradiada por quatro corpos diferentes com o comprimento de onda dessas radiações:



- a) Qual a lei, abordada nas aulas anteriores, que se aplica a esta situação?
- b) Para cada uma das curvas representadas, calcule o comprimento de onda para o máximo de intensidade da radiação emitida por cada um dos corpos.
- c) Como varia a potência irradiada de um corpo com o comprimento de onda correspondente a diferentes temperaturas?
- 6) A uma dada temperatura, $\lambda_{\text{máx}} = 650 \text{nm}$ para uma cavidade de corpo negro. Qual será $\lambda_{\text{máx}}$ se a taxa de emissão de radiação espectral for duplicada?

- 7) Observe as curvas de Planck da radiação de corpo negro na figura abaixo. Compare-as. Se a temperatura de emissão da radiação aumenta, diga o que ocorre com o comprimento de onda emitido quando a intensidade é máxima.



- 8) Em uma explosão termonuclear a temperatura no centro da explosão é, momentaneamente, $T=10^7\text{K}$. Encontre o comprimento de onda $\lambda_{\text{máx}}$ para o qual a radiação emitida é máxima.
- 9) A temperatura de um corpo negro diminui de 800K Para 650K. Determine como mudou o comprimento de onda que corresponde ao máximo de emissão do espectro de radiação deste corpo.
- 10) O filamento de uma lâmpada de incandescência que está a uma temperatura de 3000 K, irradia a potência de 100W. Considerando a sua emissividade igual a 0,35, calcule a área da superfície do filamento.
- 11) Um corpo negro à temperatura de $373\text{ }^\circ\text{C}$ radia $9,4 \times 10^5\text{J}$ durante 1,5 horas. Determine:
- A intensidade total da radiação emitida neste intervalo de tempo.
 - A potência radiada.
 - A área da superfície do corpo.

Quantificando a Radiação

Descrever quantitativamente a radiação dos espectros foi uma árdua tarefa para os físicos no final do século XIX. Pois, não foi fácil conseguir uma teoria que explicasse corretamente a curva espectral da radiação (o gráfico de intensidade em função da frequência da radiação).

A Teoria Clássica

Na época as teorias do Eletromagnetismo, Termodinâmica e a da Mecânica Estatística estavam no ápice e foi utilizando essa física, dita clássica, juntamente com a ideia de corpo negro que o físico inglês John William Strutt Rayleigh (1842-1919) propôs em junho de 1900 um modelo para explicar a radiação. Cinco anos mais tarde o físico James Hopwood Jeans (1877-1946) viria a corrigir um pequeno erro cometido por Rayleigh nessa Lei, e após isso ficou conhecida como Lei de Rayleigh-Jeans.

Pontos importantes a Teoria Clássica:

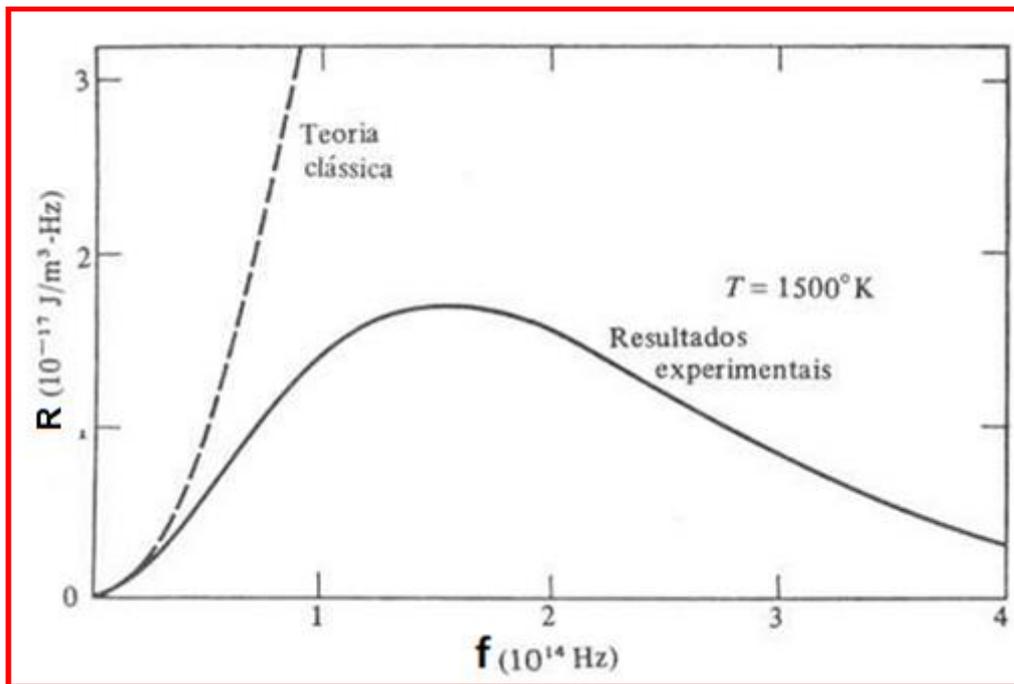
- ✚ Foi considerada uma caixa fechada que seria o corpo negro.
- ✚ Os átomos da caixa possuem uma agitação térmica, que ficam vibrando o tempo todo, ao redor de uma posição de equilíbrio, como osciladores (unidimensionais) que emitem radiação eletromagnética.
- ✚ Cada onda individual (átomo) contribui com uma energia média de kT para a radiação na caixa. ($E=k.T$)
- ✚ Para um oscilador unidimensional, as energias, de acordo com a distribuição Maxwell-Boltzmann são $N(E) = nkT$

Juntando tudo isso e após manipulações algébricas foi obtida a seguinte relação:

$$R = \frac{8\pi f^2}{c^3} kT$$

Em que, k é a constante de Boltzmann e vale: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Analisando o gráfico para o modelo de Rayleigh-Jeans e os resultados experimentais temos:



- ✚ Com frequências baixas (comprimento de ondas longo) a teoria clássica condiz com os dados experimentais.
- ✚ A partir de um determinado valor de frequência a função “explode” e diverge muito dos resultados experimentais.
- ✚ A região de frequência que isso ocorre é na faixa do ultravioleta, o que levou o físico Paul Ehrenfest a chamar essa situação de “catástrofe do ultravioleta”.
- ✚ As teorias clássicas não funcionam para o caso de radiação de corpo negro.

Então só uma nova teoria física pode explicar esse fenômeno.

Max Planck (1858-1947)

Em 14 de dezembro de 1900, o físico alemão Max Planck divulga seu trabalho sobre a distribuição espectral de radiação, que chocou o mundo acadêmico e trouxe novas perspectivas para a Física. Trabalho este que foi reconhecido alguns anos mais tarde com um Prêmio Nobel de Física em 1918.

A Teoria Quântica de Planck

A palavra **quantum** vem do latim que significa “pacote”, essa nomenclatura foi dada por Planck quando postulou que a energia só era absorvida ou liberada em pacotes com energia. O plural de quantum é quanta. O nome Teoria quântica veio a ser substituído por Mecânica Quântica posteriormente.

Na teoria de Planck, cada oscilador na cavidade de um corpo negro pode emitir ou absorver energia somente em quantidades que são múltiplos inteiros de uma certa quantidade básica de energia:

$$E_n = N\varepsilon \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

Sendo n é o número de quanta e ε a energia de cada um quanta. Além disso, a energia de cada um dos quanta é determinada pela frequência (**energia diretamente proporcional a frequência**).

$$E = h.f$$

Onde, h é a constante da proporcionalidade, agora conhecida como **constante de Planck**. ($h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$) ou ($h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$)

Assim, a equação para a radiação de cavidade toma a forma $E_n = nhf$.

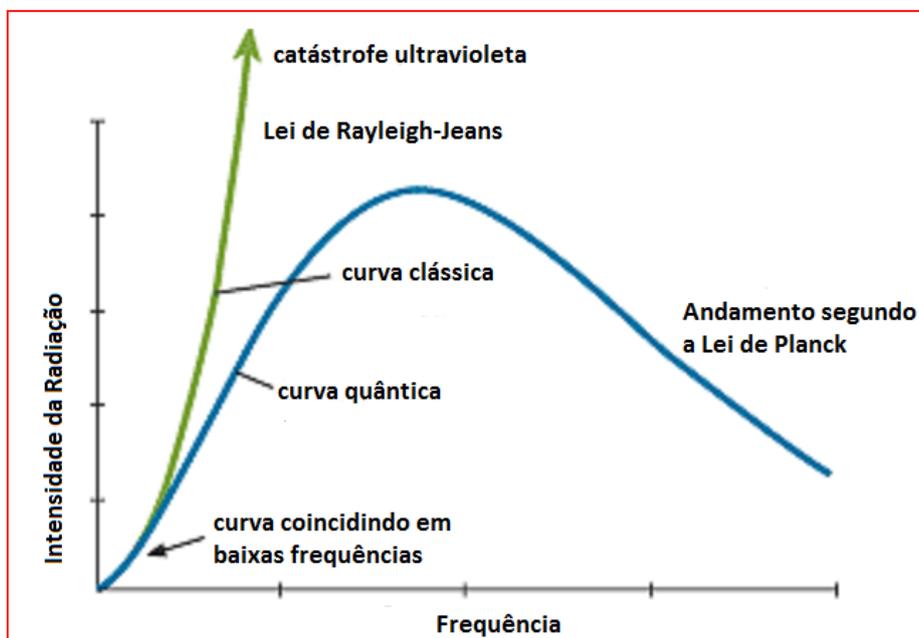
- ✚ A diferença entre o cálculo de Planck e o cálculo clássico usando as estatísticas de Maxwell-Boltzmann é que a energia de um oscilador a um determinado comprimento de onda ou frequência já **não é um contínuo**. Mas sim, uma **variável discreta**.
- ✚ O valor da energia média deveria depender então da frequência da radiação ao invés de ser igual a kT para todos os comprimentos de onda confinados na cavidade, como predito pela teoria clássica.

Energia Clássica	Energia Quântica
$E=nkT$	$E=nhf$

A lei de Planck para a radiação fica:

$$R = \frac{8\pi hf^3}{c^3} \frac{1}{(e^{\frac{hf}{kT}} - 1)}$$

Comparando as curvas de Rayleigh-Jeans, resultados experimentais e a curva de Planck temos:



A Lei de Planck se ajusta perfeitamente sobre a curva experimental e resolve o problema da catástrofe do ultravioleta.

Com os dados disponíveis em 1900, Planck conseguiu encontrar uma relação entre a constante de Stefan-Boltzmann (σ) e a sua constante (h) que é:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3}$$

Planck também foi capaz de demonstrar a Lei do deslocamento de Wien e a Lei de Stefan-Boltzmann através de sua equação. Por esse trabalho que iniciou a era quântica, e ele ficou conhecido como o pai da [Mecânica Quântica](#).

Wien X Rayleigh-Jeans X Planck

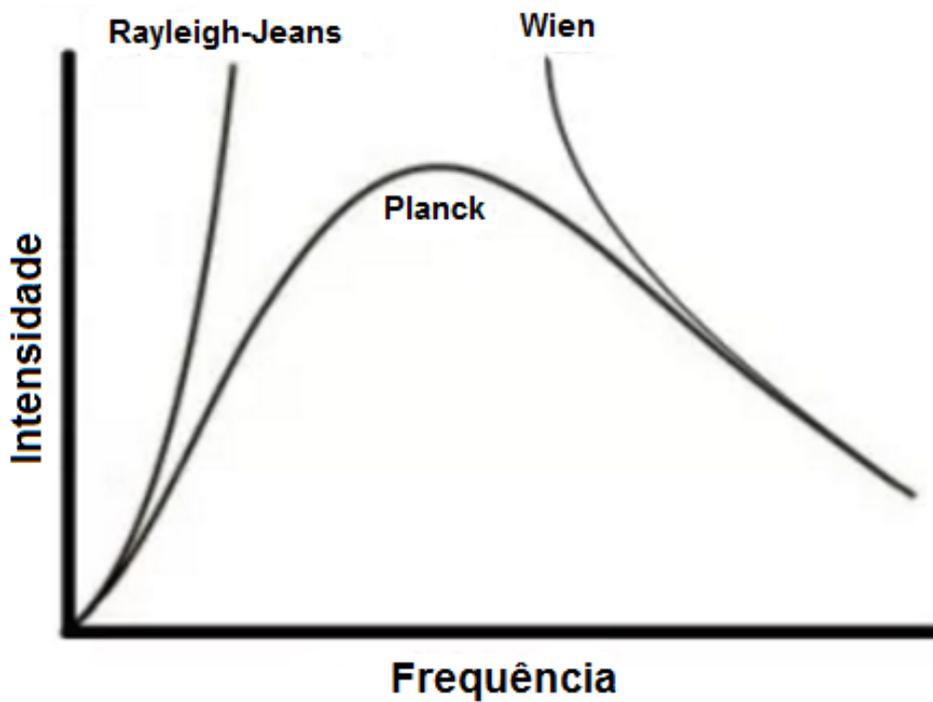
Além da Lei do deslocamento dos picos, Wien também desenvolveu uma Lei que descreve a intensidade da radiação em função da frequência, assim como Rayleigh e Jeans fizeram. A equação que Wien obteve foi:

$$R = \alpha f^3 \cdot e^{(-\beta f/T)}$$

, sendo $\alpha = 2\pi h/c^2$ e $\beta = h/k$.

Essa lei possuía um limite de validade para altas frequências, que era o problema inverso da lei de Rayleigh-Jeans que se adequava bem aos dados experimentais em baixas frequências.

Planck interpolou uma curva aos dados experimentais e para isso postulou a ideia de que a energia média ao invés ser kT era hf . Isso fez toda a diferença e ele conseguiu uma curva que se ajustava perfeitamente aos dados. Abaixo segue o gráfico de onde podemos fazer um comparativo entre as Leis que descrevem ao problema de Kirchhoff (a radiação da cavidade).



Problemas comentados

Problema 1 - (FMTM-2002) A medicina encontra nos raios LASER, cada dia que passa, uma nova aplicação. Em cirurgias, têm substituído os bisturis e há muito são usados para “soldar” retinas descoladas. Teoricamente idealizados em 1917 por Albert Einstein, podem hoje em dia ser obtidos a partir de sólidos, líquidos e gases. O primeiro LASER a gás empregava uma mistura de hélio e neônio e produzia um feixe de ondas eletromagnéticas de comprimento de onda $1,15 \cdot 10^{-6} \text{m}$. Com base na tabela que segue e considerando-se a velocidade de propagação da luz $3 \cdot 10^8 \text{m/s}$, a “cor” do feixe emitido por este LASER era:

Frequência (10^{14}Hz)	Cor
6,9	azul
6,2	azul-esverdeada
5,1	amarela
3,9	vermelha
2,6	infravermelha

- a) azul.
- b) azul-esverdeada.
- c) amarela.
- d) vermelha.
- e) infravermelha.

Bem, a cor característica de uma radiação eletromagnética é função de sua frequência ou de seu comprimento de onda. Temos o valor do comprimento de onda, mas não temos como relacionar diretamente com a cor. Então iremos utilizar a equação $c = \lambda \cdot f$, para encontrar a frequência que corresponde esse comprimento de onda e olhar na tabela a “cor” correspondente.

$$c = \lambda \cdot f$$

$$3 \cdot 10^8 = 1,15 \cdot 10^{-6} \cdot f$$

$$f = 3 \cdot 10^8 / 1,15 \cdot 10^{-6}$$

$$f = 2,6 \cdot 10^{14} \text{Hz}$$

Alternativa E

De acordo com a tabela esse valor corresponde a “cor” infravermelha.

A “cor” está se referindo a faixa de frequência, pois sabemos que o infravermelho não faz parte da região de luz visível, portanto não poderíamos ver o feixe e muito menos dizer sua cor.

Problema 2 - Os aparelhos que tocam CDs utilizam lasers que emitem luz vermelha com um comprimento de onda de 685 nm.

a) Calcule a energia de um fóton dessa luz

Solução:

a) a energia é calculada com $E = hf$, como não temos o valor da frequência usamos a relação $c = \lambda \cdot f$ para obter $\rightarrow f = (c / \lambda)$

$$E = h \cdot (c / \lambda)$$

$$E = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 685 \cdot 10^{-9}$$

$$E = 2,9 \cdot 10^{-19} \text{ J/fóton}$$

Problema 3 - Não é radiação eletromagnética:

- a) infravermelho
- b) ultravioleta
- c) luz visível
- d) ondas de rádio
- e) ultra-som

Se olharmos o espectro eletromagnético vamos encontrar:

ONDAS DE RÁDIO	MICRO-ONDAS	INFRA VERMELHO	LUZ VISÍVEL	ULTRA VIOLETA	RAIOS X	RAIOS GAMA
----------------	-------------	----------------	-------------	---------------	---------	------------

Exceto o ultra-som, pois essa é a única onda mecânica dentre as alternativas.

Resposta alternativa E.

Problema 4 - (UFMG-2006) A luz emitida por uma lâmpada fluorescente é produzida por átomos de mercúrio excitados, que, ao perderem energia, emitem luz. Alguns dos comprimentos de onda de luz visível emitida pelo mercúrio, nesse processo, estão mostrados nesta tabela:

Cor	Comprimento de onda(x 10-9m)
Amarela	579,2
Verde	546,2
Azul	491,7
violeta	436,0

Considere que, nesse caso, a luz emitida se propaga no ar. Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que, em comparação com os de luz violeta, os fótons de luz amarela têm:

- a) menor energia e menor velocidade.
- b) maior energia e maior velocidade.
- c) menor energia e mesma velocidade.
- d) maior energia e mesma velocidade

Solução:

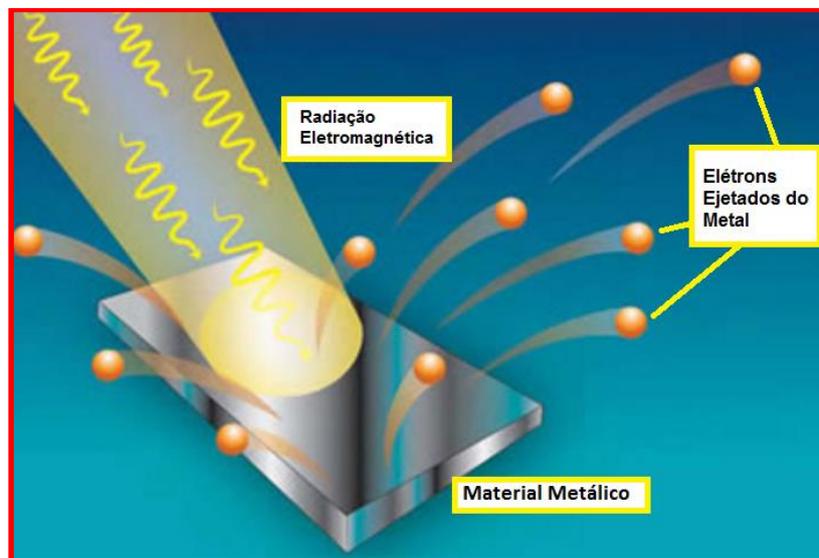
Como todas as ondas eletromagnéticas se deslocam com a **mesma velocidade “c”**, a resposta depende exclusivamente da energia. Energia que de acordo com a Lei da quantização de Planck vale: **(E=h.f)**. Sabemos que **f=c/λ**, o que implica na energia dependendo do comprimento de onda na forma: **E = h. (c/λ)**. Logo, a onda que possuir maior comprimento de onda terá menor energia, pois energia e comprimento de onda são inversamente proporcionais.

Como a luz amarela tem maior comprimento de onda que a luz violeta implica que a luz amarela tem menor energia que a luz violeta.

Resposta correta alternativa C.

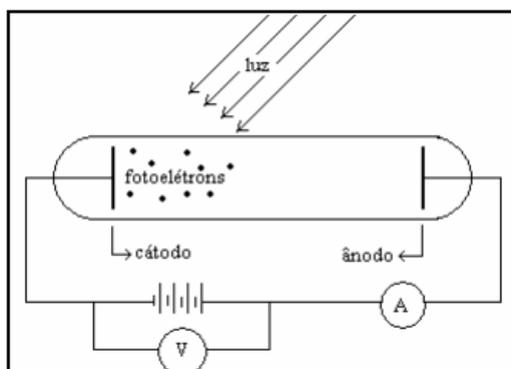
Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico foi uma experiência que comprovou a teoria de Planck/Einstein e *mostrou que a luz não se comporta apenas como onda, mas também como partícula.* Trata-se da emissão de elétrons de uma superfície metálica, devido à incidência de radiação eletromagnética sobre essa superfície. Os elétrons ejetados pelo material são chamados “**fotoelétrons**”. Veja a figura abaixo.



Origem

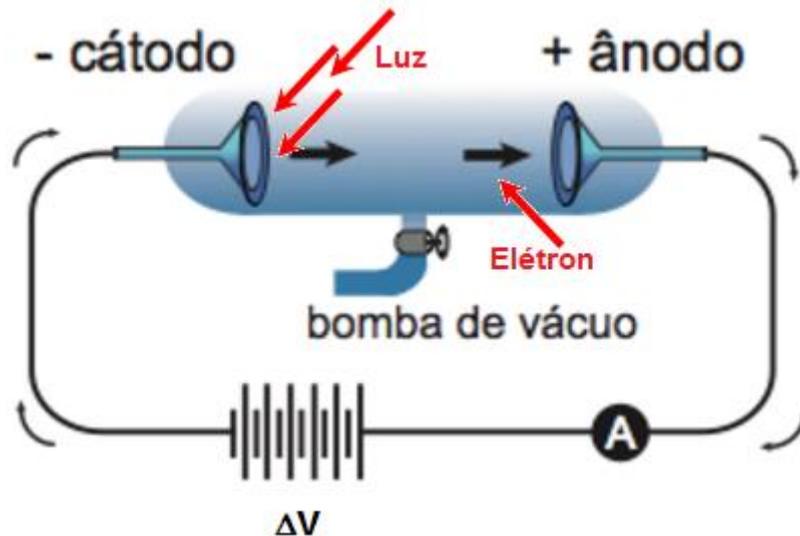
O primeiro a observar o fenômeno e verificar que descargas elétricas entre dois eletrodos ocorrem mais facilmente na incidência de luz ultravioleta, foi Heinrich Hertz em 1887. Em 1902 foi estudado por Lenard com um experimento que era constituído com tubos de raios catódicos. Abaixo a ideia ilustrativa do experimento de Lenard.



Os elétrons ejetados devido à incidência de luz sobre um metal são chamados de fotoelétrons.

O experimento de Lenard

O experimento tem como base um tubo com gás rarefeito, que possui um cátodo de um lado e do outro lado um ânodo, que estão ligados formando um circuito que registra a corrente elétrica através de um amperímetro e possui uma fonte de tensão que pode ser ajustada. Conforme o esquema da figura:



O objetivo do experimento é verificar como a luz afeta a corrente elétrica do circuito.

Na ausência de incidência de luz não há corrente elétrica.

A luz incide sobre o cátodo que emite elétrons que se deslocam e chegam ao ânodo e geram uma corrente elétrica quando ΔV é positivo.

Observações notadas:

- 1 – A corrente elétrica depende da intensidade da luz.
- 2 – A corrente elétrica aparece instantaneamente com a incidência de luz. (fato que não se sabia explicar classicamente).
- 3 – A corrente elétrica não aparece com qualquer frequência. (existe uma frequência mínima necessária para que o fenômeno ocorra).
- 4 – A frequência limite para gerar corrente elétrica depende do metal do cátodo.

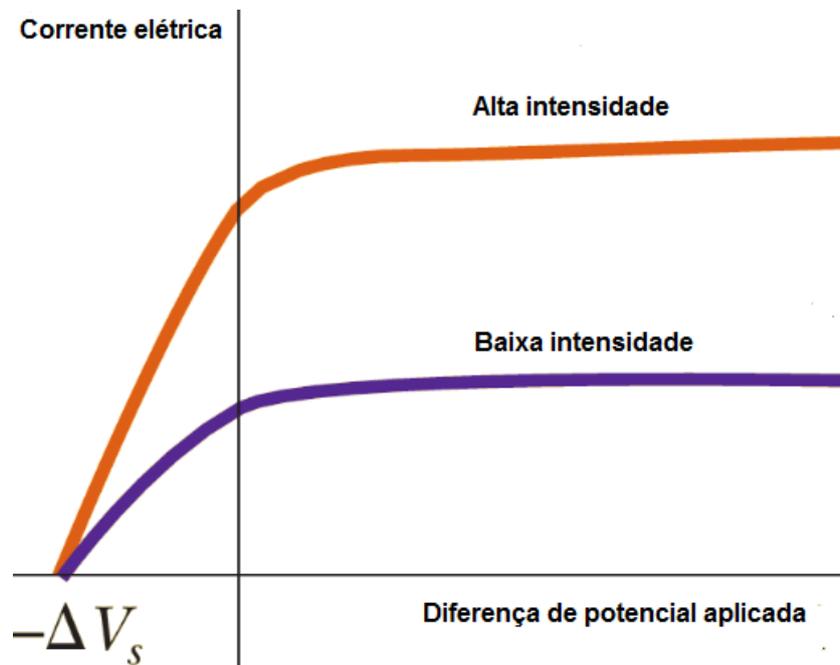
5 – Invertendo a polaridade de ΔV , isto é, fazer com que o anodo possua um potencial menor que o catodo. Temos então $-\Delta V$. Alguns elétrons que chegariam ao anodo estão sendo puxados ao catodo de volta pela inversão da força elétrica. Nessa situação os elétrons partem com energia cinética máxima e voltam no decorrer da trajetória, alguns ainda conseguem chegar ao anodo, e muitos voltam, podemos então definir um “potencial de corte” V_0 . Nestas condições os elétrons possuem uma energia potencial $E = e.V_0$, sendo e a carga do elétron e V_0 o potencial.

Fazendo, $E_{C_{Max}} = e.V_0$, daí temos;

$$V_0 = \frac{E_{C_{Max}}}{e}$$

V_0 é chamado de potencial de frenamento

Abaixo segue o gráfico do comportamento da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicada, quando ΔV é positivo a física clássica consegue responder, no entanto quando ΔV é negativo o potencial de frenamento converge para o mesmo valor tanto para alta intensidade como para a baixa intensidade e isso não se explica classicamente.



Previsões clássicas do experimento

- ✚ O aumento da intensidade da radiação incidente aumenta a energia cinética dos elétrons ejetados.
- ✚ O efeito fotoelétrico deveria acontecer para qualquer frequência da radiação incidente, desde que sua intensidade (amplitude) fosse suficiente.
- ✚ Para os elétrons serem ejetados com radiação suficientemente fraca (pequena amplitude), deveria existir um atraso entre o instante que a radiação começa a incidir sobre o material e a ejeção do elétron.

Nenhuma dessas previsões foi observada.

Resultados do experimento

- ✚ A emissão de fotoelétrons, a partir da incidência da radiação, é instantânea.
- ✚ A energia cinética dos fotoelétrons não depende da intensidade da radiação e sim da sua frequência.
- ✚ Para cada material existe uma frequência de corte, abaixo da qual não há emissão de fotoelétrons.
- ✚ Para um mesmo material, o potencial de frenamento é o mesmo para qualquer intensidade, mas aumenta de modo proporcional à frequência.

O que Einstein fez?

Ao publicar seus trabalhos sobre a natureza da Luz, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955), resgatou a teoria corpuscular da luz, postulou que todas as ondas eletromagnéticas eram formadas por pequenos pacotes de energia, os quanta de luz, que posteriormente foram chamados de fótons.

Para Planck, a energia quantizada era um fato que só acontecia para a radiação em uma cavidade. Einstein foi o primeiro a defender que a energia era quantizada independente da cavidade. Sendo assim, cada fóton deveria apresentar energia discreta de acordo com a equação:

$$E_{\text{fóton}} = h \cdot f$$

Os elétrons do metal adquirem a energia necessária para serem arrancados de uma só vez, absorvendo completamente a energia dos fótons. Por esse motivo, se explica a rapidez do efeito fotoelétrico sem o atraso previsto classicamente.

Cada fóton é responsável pela ejeção de um elétron. Assim, aumentando-se a intensidade da radiação, aumentaríamos a quantidade de fotoelétrons ejetados. Ou seja, a corrente elétrica no experimento de Lenard.

Existe uma função trabalho que é a energia mínima necessária para se retirar o elétron do metal. Essa função trabalho depende da natureza do metal. A tabela abaixo apresenta algumas funções trabalhos dos seus respectivos metais. A função trabalho ora é apresentada por Φ ora por W_0 . Sua unidade é o elétron-volt.

Funções trabalhos de alguns metais	
Metal	ϕ (eV)
Na	2,28
Co	3,90
Al	4,08
Cu	4,70
Pb	4,14
Zn	4,31
Fe	4,50
Ag	4,73
Pt	6,35

A unidade da constante de Planck no efeito fotoelétrico pode aparecer em função do elétron-volt e assume o valor $4,2 \cdot 10^{-15}$ eV.s.

“1 elétron-volt equivale a $1,602 \times 10^{-19}$ joules. Seu símbolo é eV”.

A energia cinética máxima que o fotoelétron adquire é igual a energia do fóton absorvido ($E=h.f$) menos a energia necessária para se retirar o elétron do metal (a função trabalho W_0).

$$E_{\text{cinética}} = h.f - W_0$$

Para que o efeito fotoelétrico ocorra é necessária a condição de que a energia do fóton seja maior que a função trabalho.

$$h.f > W_0$$

Como a intensidade da radiação incidente não interfere no efeito é necessário que exista uma frequência de corte mínima para a ejeção dos fotoelétrons.

Para determiná-la é simples. Basta perceber que, para que não ocorra o efeito, a energia cinética do fotoelétron deve ser zero. Aplicando na equação $E_c=hf-w_0$, temos:

$$f_0 = W_0 / h$$

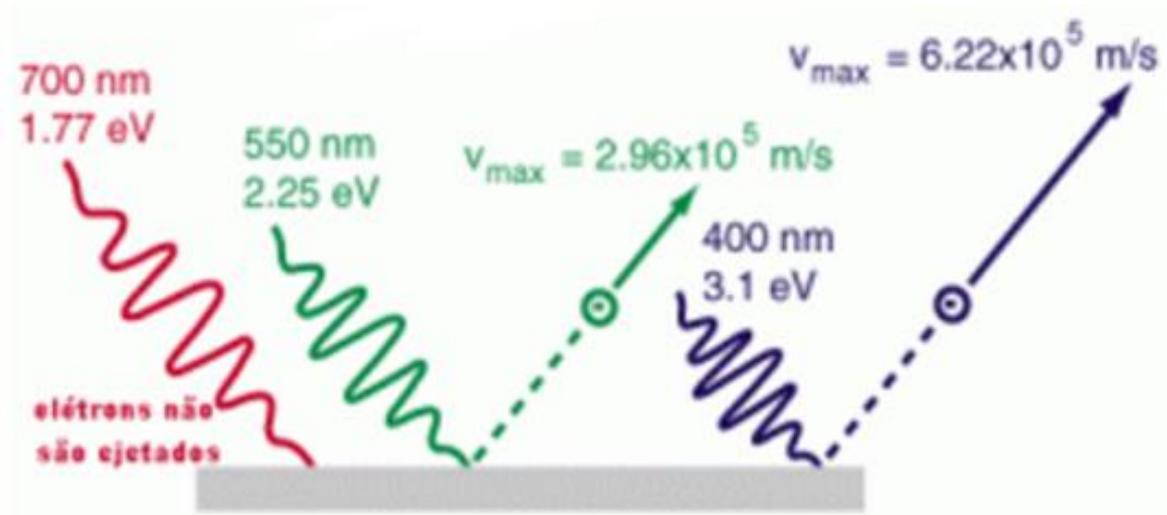
A frequência mínima necessária para que o efeito fotoelétrico ocorra é "f₀".

A frequência de corte também sugere a existência de um comprimento de onda de corte, já que estão relacionadas com $c=\lambda.f$

$$\lambda_0 = h.c/W_0$$

λ_0 é o comprimento de onda máximo que para a ocorrência do efeito fotoelétrico.

A figura abaixo ilustra o comportamento do efeito fotoelétrico com diferentes comprimentos de onda incidindo sobre uma superfície de potássio. **A função trabalho do potássio $W_0 = 2,24 \text{ eV}$.**



1 – radiação vermelha → não ocorre. A energia incidente é menor que a função trabalho.

2 – radiação verde → ocorre. A energia incidente é maior que a vermelha e a função trabalho.

3 – radiação azul → ocorre. A energia incidente é maior que a luz verde. Consequentemente supera também a função trabalho.

O comprimento de onda de corte é dado por; $\lambda_0 = h.c/W_0$.

$$\lambda_0 = (4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}) \cdot (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (2,24 \text{ eV})$$

$$\lambda_0 = 562,5 \text{ nm}$$

- ✚ Apenas radiações com comprimento de onda **inferior a 562,5 nm** produzirão o efeito fotoelétrico no potássio.
- ✚ A frequência de corte para o potássio é $f_0 = 5,33 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Valor superior ao da frequência para luz vermelha que está na faixa entre $3,84 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ – $4,82 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, então fica evidente o porquê de não ocorrer o fenômeno.

O gráfico da equação de Einstein do Efeito Fotoelétrico

A equação $E_{\text{cinética}} = h \cdot f - W_0$ é uma função do 1º grau que descreve a energia cinética dos fótons-elétrons em função da frequência da radiação incidente no metal.

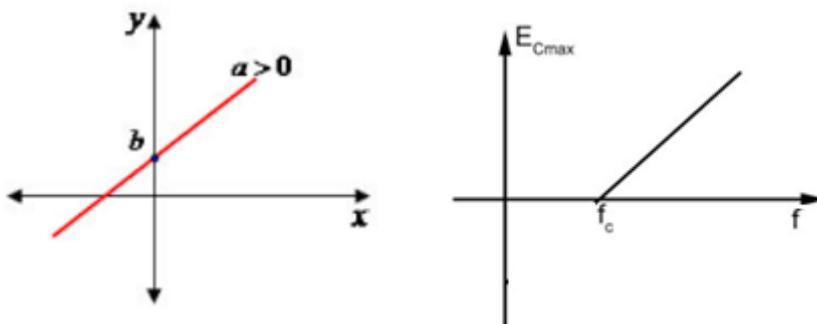
Comparando com a função $y = ax + b$, temos:

'y' equivale a $E_{\text{cinética}} \rightarrow$ **variável dependente**

'a' equivale a $h \rightarrow$ **coeficiente angular**

'x' equivale a $f \rightarrow$ **variável independente**

'b' equivale a $-W_0 \rightarrow$ **coeficiente linear (que não aparece no gráfico)**



Observações:

- ✚ O gráfico do efeito fotoelétrico irá ocupar sempre os quadrantes 1º, 4º. Pois, não existe frequência negativa.
- ✚ Existe uma frequência de corte para que o fenômeno ocorra.
- ✚ A frequência de corte f_0 é o ponto onde a energia cinética dos fotoelétrons E_c é nula. “A partir dela que começa a ocorrer o efeito”.
- ✚ A inclinação da reta nos fornece a constante de Planck.

Problemas comentados

Problema 1 - (UFG-2007) O efeito fotoelétrico, explorado em sensores, células fotoelétricas e outros detectores eletrônicos de luz, refere-se à capacidade da luz de retirar elétrons da superfície de um metal. Quanto a este efeito, pode-se afirmar que:

- a) a energia dos elétrons ejetados depende da intensidade da luz incidente.
- b) a energia dos elétrons ejetados é discreta, correspondendo aos quanta de energia.
- c) a função trabalho depende do número de elétrons ejetados.
- d) a velocidade dos elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.
- e) o número de elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.

Solução:

Como vimos anteriormente, a intensidade da luz NÃO interfere na energia cinética dos fotoelétrons.

A energia cinética dos fotoelétrons NÃO é discreta.

A função trabalho é uma característica intrínseca do metal.

A velocidade dos fotoelétrons depende da energia da luz incidente que por sua vez depende da frequência e essa caracteriza a cor da luz.

A intensidade da luz é responsável pela quantidade de fotoelétrons e não a frequência.

Resposta correta alternativa D

Problema 2 - (UFC-2002) A função trabalho de um dado metal é 2,5 eV.

a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal · incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{m}$. A constante de Planck é $h \approx 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$ e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?

Solução:

- a) A condição para que haja o efeito fotoelétrico é $h \cdot f > W_0$, substituindo a relação $f = c/\lambda$ e os valores das grandezas, temos:

$$(4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}) \cdot (3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}) / (6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}) > 2,5 \text{ eV}$$

$$2,096 \text{ eV} > 2,5 \text{ eV} \quad \text{é falso.}$$

Logo, NÃO HÁ EMISSÃO para esse comprimento de onda.

- b) A frequência mais baixa é chamada de frequência de corte e é calculada dessa forma:

$$f_0 = W_0 / h$$

$$f_0 = 2,5 \text{ eV} / 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

$$f_0 = 5,95 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Problema 3 - Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de 2,3 eV e a frequência da radiação é de $3,0 \times 10^{15} \text{ Hz}$.

$$E_{\text{cinética}} = h \cdot f - W_0$$

$$E_{\text{cinética}} = 4,2 \cdot 10^{-15} \cdot 3,0 \times 10^{15} - 2,3$$

$$E_{\text{cinética}} = 12,6 - 2,3$$

$$E_{\text{cinética}} = 10,12 \text{ eV}$$

Exercícios de Fixação

- 12)** Qual a frequência mínima (frequência de corte) de emissão de fotoelétrons do sódio? Dados: função trabalho do sódio $\phi = 2,28 \text{ eV}$ constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.
- 13)** A função trabalho do zinco é $4,31 \text{ eV}$. Verifique se há emissão de fótons elétrons quando sobre uma placa de zinco incide luz de comprimento de onda $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. Dados: constante de Planck $h = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$. velocidade de propagação da luz no vácuo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- 14)** (UFC-2002) A função trabalho de um dado metal é $2,5 \text{ eV}$.
- a) Verifique se ocorre emissão fotoelétrica quando sobre esse metal incide luz de comprimento de onda $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$. A constante de Planck é $h \approx 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$ e a velocidade da luz no vácuo é $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.
- b) Qual é a frequência mais baixa da luz incidente capaz de arrancar elétrons do metal?
- 15)** (Fuvest-SP) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa com energia cinética máxima $E_c = E - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação.

Determine:

- a) a frequência f da radiação incidente na placa de sódio;
- b) a energia E de um fóton dessa radiação;
- c) a energia cinética máxima E_c de um elétron que escapa da placa de sódio;
- d) a frequência f_0 da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

Note e adote:

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s

1 nm = 10^{-9} m

$h = 4 \cdot 10^{-15}$ eV.s

W (sódio) = 2,3 eV

1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J

- 16)** (UFRN-2004) Uma das aplicações do efeito fotoelétrico é o visor noturno, aparelho de visão sensível à radiação infravermelha, ilustrado na figura abaixo. Um aparelho desse tipo foi utilizado por membros das forças especiais norte-americanas para observar supostos integrantes da rede al-Qaeda. Nesse tipo de equipamento, a radiação infravermelha atinge suas lentes e é direcionada para uma placa de vidro revestida de material de baixa função de trabalho (W). Os elétrons arrancados desse material são “transformados”, eletronicamente, em imagens. A teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico estabelece que:

$$E_C = hf - W$$

sendo:

- E_C a energia cinética máxima de um fotoelétron;
- $h = 6,6 \times 10^{-34}$ J.s a constante de Planck;
- f a frequência da radiação incidente.

Considere que um visor noturno recebe radiação de frequência $f = 2,4 \times 10^{14}$ Hz e que os elétrons mais rápidos ejetados do material têm energia cinética $E_C = 0,90$ eV. Sabe-se que a carga do elétron é $q = 1,6 \times 10^{-19}$ C e $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J. Baseando-se nessas informações, calcule:

- a) A função de trabalho (W) do material utilizado para revestir a placa de vidro desse visor noturno, em eV;
- b) O potencial de corte (V_0) desse material para a frequência (f) da radiação incidente.

Testes de Vestibulares

Lei de Wien e Lei de Stefan-Boltzmann

T1) (Esal-MG) A interpretação da lei de Stefan-Boltzmann (radiação) nos permite concluir que:

- a) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta.
- b) os corpos só emitem energia radiante a uma temperatura acima de 0 °C(273K).
- c) a energia emitida por um corpo depende da emissividade do corpo e da (temperatura absoluta do corpo elevada à quarta potência.
- d) um corpo à temperatura de 0°C (273K) não emite energia radiante.
- e) a energia radiante emitida por um corpo é proporcional à temperatura absoluta ao quadrado.

T2)(ENEM-2011) Para que uma substância seja colorida ela deve absorver luz na região do visível. Quando uma amostra absorve luz visível, a cor que percebemos é a soma das cores restantes que são refletidas ou transmitidas pelo objeto. A figura 1 mostra o espectro de absorção para uma substância e é possível observar que há um comprimento de onda em que a intensidade de absorção é máxima. Um observador pode prever a cor dessa substância pelo uso da roda de cores (Figura 2): o comprimento de onda correspondente à cor do objeto é encontrado no lado oposto ao comprimento de onda da absorção máxima.

- a) Azul
- b) Verde
- c) Violeta
- d) Laranja
- e) Vermelho

Figura 1

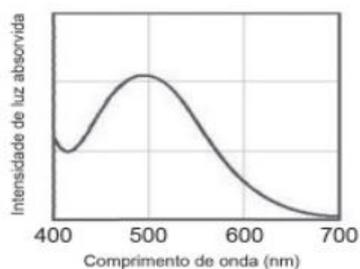
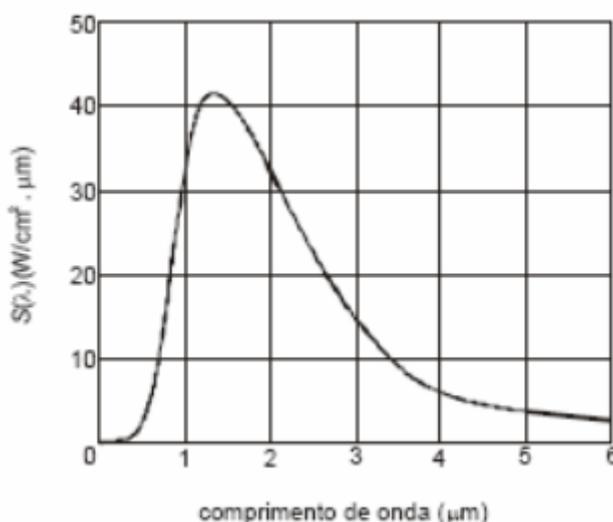


Figura 2



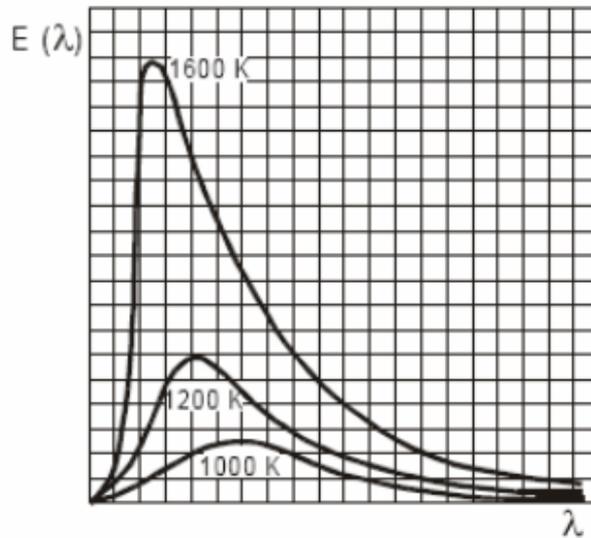
Brown, T. Química a Ciência Central. 2005 (adaptado).

T3)(UFRN) A radiação térmica proveniente de uma fornalha de altas temperaturas em equilíbrio térmico, usada para fusão de materiais, pode ser analisada por um espectrômetro. A intensidade da radiação emitida pela fornalha, a uma determinada temperatura, é registrada por esse aparato em função do comprimento de onda da radiação. Daí se obtém a curva espectral apresentada na figura. A análise desse tipo de espectro levou o físico alemão Wilhelm Wien, em 1894, a propor que, quando a intensidade da radiação emitida é máxima, o comprimento de onda associado obedece à expressão: em que $\lambda_{\text{máx}}$ é o comprimento de onda do máximo da curva espectral e T é a temperatura da fornalha para um determinado espectro. De acordo com essas informações, é correto afirmar que a temperatura da fornalha é, aproximadamente,



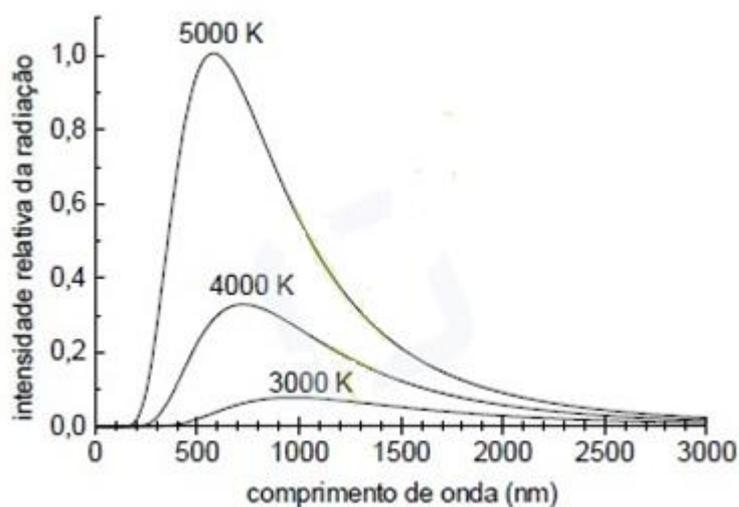
- (A) 2000 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ aumenta quando a temperatura aumenta.
- (B) 1500 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ diminui quando a temperatura diminui.
- (C) 2000 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ diminui quando a temperatura aumenta.
- (D) 1500 K e que $\lambda_{\text{máx}}$ aumenta quando a temperatura diminui.

T4)(MEC) No gráfico ao lado estão representadas três curvas que mostram como varia a energia emitida por um corpo negro para cada comprimento de onda, $E(\lambda)$, em função do comprimento de onda λ , para três temperaturas absolutas diferentes: 1000 K, 1200 K e 1600 K. Com relação à energia total emitida pelo corpo negro e ao máximo de energia em função do comprimento de onda, pode-se afirmar que a energia total é:



- (A) proporcional à quarta potência da temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (B) proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (C) proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (D) inversamente proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- (E) inversamente proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.

T5) (UFPR) A equação que descreve o espectro de radiação emitido por um corpo negro foi descoberta por Max Planck em 1900, sendo posteriormente chamada de Lei da Radiação de Planck. Ao deduzir essa equação, Planck teve que fazer a suposição de que a energia não poderia ter um valor qualquer, mas que deveria ser um múltiplo inteiro de um valor mínimo. O gráfico abaixo mostra a intensidade relativa da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda para três diferentes temperaturas. A região visível do espectro compreende os comprimentos de onda entre 390nm e 780nm, aproximadamente que correspondem às cores entre o violeta e o vermelho.



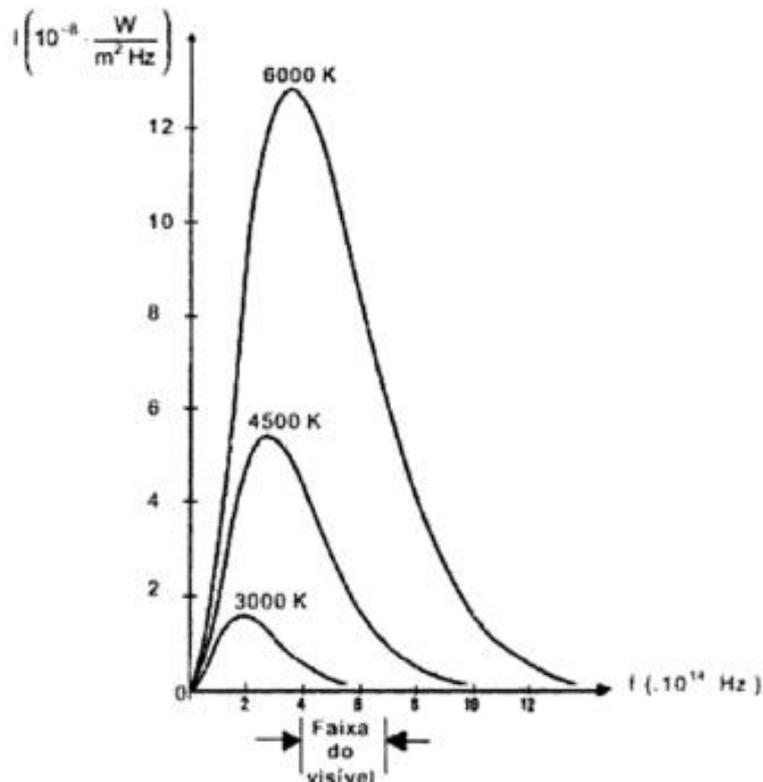
Com base nessas informações e no gráfico acima, considere as seguintes afirmativas:

1. A lei da Radiação de Planck depende da temperatura do corpo negro e do comprimento de onda da radiação emitida.
2. O princípio do funcionamento da lâmpada incandescente pode ser explicado pela radiação do corpo negro.
3. Para a temperatura de 3000K, a maior parte da radiação emitida por um corpo aquecido está na faixa do infravermelho.

Assinale a alternativa correta

- a) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 1 e 3 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.
- e) As afirmativas 1, 2 e 3 são verdadeiras.

T6)(UFRN) As lâmpadas incandescentes são pouco eficientes no que diz respeito ao processo de iluminação. Com intuito de analisar o espectro de emissão de um filamento de uma lâmpada incandescente, vamos considerá-lo como sendo semelhante ao de um corpo negro (emissor ideal) que esteja à mesma temperatura do filamento (cerca de 3000 K). Na figura abaixo, temos o espectro de emissão de um corpo negro para diversas temperaturas.



Diante das informações e do gráfico, podemos afirmar que, tal como um corpo negro,

- (A) os fótons mais energéticos emitidos por uma lâmpada incandescente ocorrem onde a intensidade é máxima.
- (B) a frequência em que ocorre a emissão máxima independe da temperatura da lâmpada.
- (C) a energia total emitida pela lâmpada diminui com o aumento da temperatura.
- (D) a lâmpada incandescente emite grande parte de sua radiação fora da faixa do visível.

Quantização da energia

T7)(VUNESP-2006) Sabe-se que a energia de um fóton é proporcional à sua frequência. Também é conhecido experimentalmente que o comprimento de onda da luz vermelha é maior que o comprimento de onda da luz violeta que, por sua vez, é maior que o comprimento de onda dos raios X. Adotando a constância da velocidade da luz, pode-se afirmar que

- a) a energia do fóton de luz vermelha é maior que a energia do fóton de luz violeta.
- b) a energia do fóton de raio X é menor que a energia do fóton de luz violeta.
- c) as energias são iguais, uma vez que as velocidades são iguais.
- d) as energias dos fótons de luz vermelha e violeta são iguais, pois são parte do espectro visível, e são menores que a energia do fóton de raio X.
- e) a energia do fóton de raio X é maior que a do fóton de luz violeta, que é maior que a energia do fóton de luz vermelha.

T8)(PUC -RS-2006) A escolha do ano de 2005 como o Ano Mundial da Física teve como um de seus objetivos a comemoração do centenário da publicação dos primeiros trabalhos de Albert Einstein. No entanto, é importante salientar que muitos outros cientistas contribuíram para o excepcional desenvolvimento da Física no século passado. Entre eles cabe destacar Max Planck, o qual, em 1900, propôs a teoria da quantização da energia. Segundo esta teoria, um corpo negro irradia energia de forma _____, em porções que são chamadas de _____, cuja energia é proporcional à _____ da radiação eletromagnética envolvida nessa troca de energia. A sequência de termos que preenche corretamente as lacunas do texto é:

- a) descontínua -prótons -frequência
- b) contínua -prótons -amplitude
- c) descontínua -fótons -frequência
- d) contínua -fótons -amplitude
- e) descontínua -elétrons –frequência

T9) (UFMG-2002) Para se produzirem fogos de artifício de diferentes cores, misturam-se diferentes compostos químicos à pólvora. Os compostos à base de sódio produzem luz amarela e os à base de bário, luz verde. Sabe-se que a frequência da luz amarela é menor que a da verde. Sejam E_{Na} e E_{Ba} as diferenças de energia entre os níveis de energia envolvidos na emissão de luz pelos átomos de sódio e de bário, respectivamente, e v_{Na} e v_{Ba} as velocidades dos fótons emitidos, também respectivamente. Assim sendo, é CORRETO afirmar que:

- a) $E_{Na} < E_{Ba}$ e $v_{Na} = v_{Ba}$.
- b) $E_{Na} < E_{Ba}$ e $v_{Na} < v_{Ba}$
- c) $E_{Na} > E_{Ba}$ e $v_{Na} = v_{Ba}$
- d) $E_{Na} > E_{Ba}$ e $v_{Na} > v_{Ba}$

T10) (MEC) Em 1900, Max Planck apresenta à Sociedade Alemã de Física um estudo, onde, entre outras coisas, surge a ideia de quantização. Em 1920, ao receber o prêmio Nobel, no final do seu discurso, referindo-se às ideias contidas naquele estudo, comentou: "O fracasso de todas as tentativas de lançar uma ponte sobre o abismo logo me colocou frente a um dilema: ou o quantum de ação era uma grandeza meramente fictícia e, portanto, seria falsa toda a dedução da lei da radiação, puro jogo de fórmulas, ou na base dessa dedução havia um conceito físico verdadeiro. A admitir-se este último, o quantum tenderia a desempenhar, na física, um papel fundamental... destinado a transformar por completo nossos conceitos físicos que, desde que Leibnitz e Newton estabeleceram o cálculo infinitesimal, permaneceram baseados no pressuposto da continuidade das cadeias causais dos eventos. A experiência se mostrou a favor da segunda alternativa." (Adaptado de Moulton, F.R. e Schiffers, J.J. Autobiografia de la ciencia. Trad. Francisco A. Delfiane. 2 ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1986. p. 510)

O referido estudo foi realizado para explicar:

(A) a confirmação da distribuição de Maxwell-Boltzmann, de velocidades e de trajetórias das moléculas de um gás.

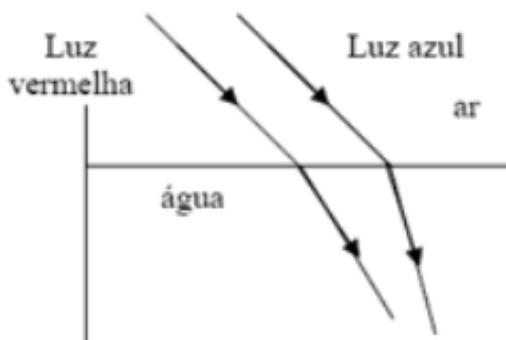
(B) a experiência de Rutherford de espalhamento de partículas alfa, que levou à formulação de um novo modelo atômico.

(C) o calor irradiante dos corpos celestes, cuja teoria havia sido proposta por Lord Kelvin e já havia dados experimentais.

(D) as emissões radioativas do isótopo Rádio-226, descoberto por Pierre e Marie Curie, a partir do minério chamado "pechblenda".

(E) o espectro de emissão do corpo negro, cujos dados experimentais não estavam de acordo com leis empíricas até então formuladas.

T11) (UEMG-2007) Dois raios de luz, um vermelho e o outro azul, são lançados paralelos um ao outro, mas obliquamente em relação à superfície da água, como na figura abaixo. Sabe-se que a frequência da luz vermelha é menor que a frequência da luz azul.



Em relação à essa situação, assinale a alternativa que traz APENAS AFIRMAÇÕES CORRETAS.

- a) As velocidades das luzes vermelha e azul na água têm o mesmo valor.
- b) A frequência da luz vermelha na água é diferente da frequência da luz vermelha no ar.
- c) Um fóton de luz vermelha tem menor energia que um fóton de luz azul.
- d) As frequências das luzes azul e vermelha na água são iguais.

T12) (UFRGS-1995) Selecione a alternativa que apresenta as palavras que completam corretamente as lacunas, pela ordem, no seguinte texto relacionado com o efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico, isto é, a emissão de _____ por metais sob a ação da luz, é um experimento dentro de um contexto físico extremamente rico, incluindo a oportunidade de pensar sobre o funcionamento do equipamento que leva à evidência experimental relacionada com a emissão e a energia dessas partículas, bem como a oportunidade de entender a inadequacidade da visão clássica do fenômeno. Em 1905, ao analisar esse efeito, Einstein fez a suposição revolucionária de que a luz, até então considerada como um fenômeno ondulatório, poderia também ser concebida como constituída por conteúdos energéticos que obedecem a uma distribuição _____, os quanta de luz, mais tarde denominados _____.

- a) fótons – contínua – fótons
- b) fótons – contínua – elétrons
- c) elétrons – contínua – fótons
- d) elétrons – discreta – elétrons
- e) elétrons – discreta – fótons

Efeito Fotoelétrico

T13) (CEFET-MG) No efeito fotoelétrico, elétrons são retirados de uma superfície metálica por meio de colisões com fótons incidentes. A energia _____ com que saem os fotoelétrons é _____ à energia dos fótons menos a energia que os prende na superfície do metal, denominada função _____.

A opção que preenche corretamente a sequência de lacunas é

- a) cinética, igual, trabalho.
- b) elétrica, menor que, elétrica.
- c) cinética, menor que, trabalho.
- d) luminosa, maior que, potência.
- e) potencial, equivalente, potência.

T14) (ENEM-MEC) O efeito fotoelétrico contrariou as previsões teóricas da física clássica porque mostrou que a energia cinética máxima dos elétrons, emitidos por uma placa metálica iluminada, depende:

- a) exclusivamente da amplitude da radiação incidente.
- b) da frequência e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- c) da amplitude e não do comprimento de onda da radiação incidente.
- d) do comprimento de onda e não da frequência da radiação incidente.
- e) da frequência e não da amplitude da radiação incidente.

T15) (UFRGS-RS) Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

II. O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III. Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a

frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais estão corretas?

- a) apenas I. b) apenas II. c) apenas I e II
d) apenas I e III. e) I, II e III.

T16) (UFG-2007) O efeito fotoelétrico, explorado em sensores, células fotoelétricas e outros detectores eletrônicos de luz, refere-se à capacidade da luz de retirar elétrons da superfície de um metal. Quanto a este efeito, pode-se afirmar que:

- a) a energia dos elétrons ejetados depende da intensidade da luz incidente.
b) a energia dos elétrons ejetados é discreta, correspondendo aos quanta de energia.
c) a função trabalho depende do número de elétrons ejetados.
d) a velocidade dos elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.
e) o número de elétrons ejetados depende da cor da luz incidente.

T17) (Perito criminal/Polícia Civil/FGV2009) Em uma experiência para estudar o efeito fotoelétrico, verificou-se que o comprimento de onda de corte para ejetar elétrons da superfície de um material era $\lambda = 4100\text{Å}$ o valor da função trabalho desse material é (considere para a constante de Planck o valor $4,1 \times 10^{-15} \text{eV}\cdot\text{s}$ e para a velocidade da luz o valor $3 \times 10^8 \text{m/s}$, $1 \text{Å} = 10^{-10} \text{m}$):

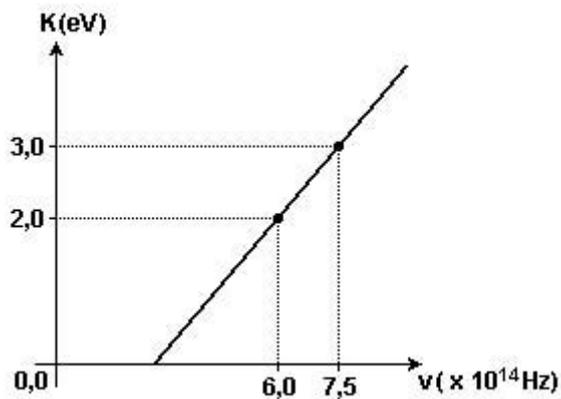
- a) 1,2 eV
b) 2,0 eV
c) 2,8 eV
d) 3,0 eV
e) 4,8 eV

T18) (UFPA) A função trabalho de um certo material é 4,2eV. O comprimento de onda, em Å, da luz capaz de produzir efeito fotoelétrico, tendo os fotoelétrons emitidos energia cinética de 2,0 eV, é aproximadamente (constante de Planck igual a $6,6 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$):

- a) 2000
b) 1000

- c) 200
- d) 100
- e) 0,2

T19) (UFC-2002) O gráfico mostrado a seguir resultou de uma experiência na qual a superfície metálica de uma célula fotoelétrica foi iluminada, separadamente, por duas fontes de luz monocromática distintas, de frequências $\nu_1=6,0 \times 10^{14}\text{Hz}$ e $\nu_2=7,5 \times 10^{14}\text{Hz}$, respectivamente. As energias cinéticas máximas, $K_1 = 2,0 \text{ eV}$ e $K_2 = 3,0 \text{ eV}$, dos elétrons arrancados do metal, pelos dois tipos de luz, estão indicadas no gráfico. A reta que passa pelos dois pontos experimentais do gráfico obedece à relação estabelecida por Einstein para o efeito fotoelétrico, ou seja, $K = h\nu - \phi$, onde h é a constante de Planck e ϕ é a chamada função trabalho, característica de cada material. Baseando-se na relação de Einstein, o valor calculado de ϕ , em elétron-volts, é:



- a) 1,3
- b) 1,6
- c) 1,8
- d) 2,0
- e) 2,3

T20) Na passagem do século XIX para o século XX, várias questões e fenômenos que eram temas de discussão e pesquisa começaram a ser esclarecidos graças a ideias que, mais tarde, viriam constituir a área da física hoje conhecida como Mecânica Quântica. Na primeira coluna da tabela abaixo, estão listados três destes temas; na segunda, equações fundamentais relacionadas às soluções encontradas

1 – Radiação do Corpo Negro	(a) $\lambda = h/p$ (Postulado de Louis de Broglie)
2 – Efeito Fotoelétrico	(b) $P = \sigma ST^4$ (Lei de Stefan-Boltzmann)
3 – Ondas de Matéria	(c) $K = hf - W$ (Relação de Einstein)

Assinale a alternativa que associa corretamente os temas apontados na primeira coluna às respectivas equações, listadas na segunda coluna.

- (A) 1(a) – 2(b) – 3(c)
- (B) 1(a) – 2(c) – 3(b)
- (C) 1(b) – 2(c) – 3(a)
- (D) 1(b) – 2(a) – 3(c)

T21) (ITA-2004) Num experimento que usa o efeito fotoelétrico, ilumina-se sucessivamente a superfície de um metal com luz de dois comprimentos de onda diferentes, λ_1 e λ_2 , respectivamente. Sabe-se que as velocidades máximas dos fotoelétrons emitidos são, respectivamente, v_1 e v_2 , em que $v_1 = 2v_2$. Designando C a velocidade da luz no vácuo, e h constante de Planck, pode-se, então, afirmar que a função trabalho ϕ do metal é dada por:

- a) $(2\lambda_1 - \lambda_2)hC / (\lambda_1\lambda_2)$.
- b) $(\lambda_2 - 2\lambda_1)hC / (\lambda_1\lambda_2)$.
- c) $(\lambda_2 - 4\lambda_1)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.
- d) $(4\lambda_1 - \lambda_2)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.
- e) $(2\lambda_1 - \lambda_2)hC / (3\lambda_1\lambda_2)$.

Gabaritos

Exercícios de fixação

E01 B

E02 C

E03 B

E04 $9,35 \cdot 10^{-4}$ m infravermelho

E05 a) Lei do deslocamento de Wien

b) $\lambda_1 = 9,66 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_2 = 7,25 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_3 = 5,78 \cdot 10^{-7}$ m $\lambda_4 = 4,82 \cdot 10^{-7}$ m

c) Varia de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, com o inverso da quarta potência.

E06 $\lambda_2 = \lambda_1 \cdot (1/2)^{-1/4}$

E07 quando a temperatura aumenta o comprimento de onda máximo diminui.

E08 $\lambda_{\text{máx}} = 2,89 \cdot 10^{-10}$ m

E09 o comprimento de onda máximo aumentou de $3,6 \cdot 10^{-6}$ m para $4,45 \cdot 10^{-6}$ m

E10 $A = 6,22 \cdot 10^{-5}$ m²

E11 a) $I = 9,87 \cdot 10^{-3}$ W/ m² b) $P = 6,26 \cdot 10^5$ W c) $A = 63,39$ m²

E12 $f = 5,5 \cdot 10^{14}$ Hz

E13 há emissão, pois o comprimento de onda incidente é menor que o comprimento de onda de corte.

E14 a) não ocorre, pois a energia do fóton é menor que a função trabalho.

b) $f = 5,95 \cdot 10^{14}$ Hz

E15 a) $f = 1 \cdot 10^{15}$ Hz , b) $E = 4,1$ eV , c) $E_c = 1,8$ eV ,

d) $f = 5,6 \cdot 10^{14}$ Hz

E16 a) $w = 8,4 \cdot 10^{-2}$ eV b) $V_0 = 0,9$ V

Testes de Vestibulares

T01	C	T08	C	T15	E
T02	E	T09	A	T16	D
T03	C	T10	E	T17	D
T04	A	T11	C	T18	A
T05	E	T12	E	T19	D
T06	D	T13	A	T20	C
T07	E	T14	E	T21	D

Referências Bibliográficas

[Bacich, Morán, 2015] Lilian BACICH, José MORÁN. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. Revista pátio, nº 25, junho, 2015, p. 45-47. Disponível em <<http://www.grupoa.com.br/revista-patio/artigo/11551/aprender-e-ensinar-com-foco-na-educacao-hibrida.aspx>>. Acesso em março 2018.

[Barbosa, 2016] Renata Cristina Barbosa. Avaliação, tecnologia e ensino híbrido. avaliaeducacional.com 2016. Disponível em <<https://www.linhadireta.com.br/publico/images/pilares/616f72c1eb9f3e7c3d5e16705bf5f1f.pdf>>. Acesso em 18/12/2018.

[Bento 2017] Dalvac Bento. A produção do material didático para EaD – São Paulo, SP. Cengage, 2017.

[Bergmann, Sams, 2018] Jonathan Bergmann, Aaron Sams. Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem. Tradução Afonso Celso da Cunha Serra. 1ª Edição [reimpr.] – Rio de Janeiro, LTC, 2018.

[Braz Júnior, Martins] Dulcídio Braz Júnior, Roberto de Andrade Martins. Física Moderna: Tópicos para o Ensino Médio. 1ª Edição. Campinas: Companhia da Escola, 2002.

[Brito, 2012] Renato Brito. Física moderna para vestibulandos. 7ª edição. Fortaleza. Editora Vestseller, 2012.

[Caruso, Oguri, 2016] Francisco Caruso, Vitor Oguri. Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

[Chesman, André, Macêdo, 2009] Carlos Chesman, Carlos André, Augusto Macêdo. Física Moderna experimental e aplicada. 2ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

[Dahme, 2005] Silvio R. Dahmen, Ver. Bras. Ensino Fís. Vol. 27 nº.2 São Paulo Apr/June 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172005000200014>. Acesso 24/12/2018.

[Dudeny, Hockly, Pergrum, 2016] Gavin Dudeny, Nicky Hockly, Mark Pergrum. Letramentos digitais – Col. Linguagens e tecnologias. Tradução: Marcos Marcionilo. São Paulo, Editora Parábola, 2016.

[Eisberg, Resnick, 1979] Robert. M. Eisberg, Robert Resnick. Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos e Partículas, Editora Campus, 1979.

[Fauth, 2011]. Anderson Campos Fauth. Disponível em <<https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/Oquantumdeluz.html>>. Acesso em 02/12/2018.

[Fonseca, Mattar, 2017] Sandra Medeiros Fonseca, João Augusto Mattar Neto. Metodologías activas aplicadas a la educación a distancia: revisión de literatura. Revista EDaPECi São Cristóvão (SE) v.17. n2, p. 185-197 mai./ago.2017.

[Freire, 1997] Paulo Freire. Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa. 35 ed. São Paulo: Paz e Terra, 2007. (Coleção Leitura)

[Gardner, 1995, p.22] Howard Gardner, Estruturas da Mente - A teoria das inteligências múltiplas. 1ª ed., Porto Alegre: Artes Médicas, 1994. _____. Inteligências Múltiplas: a teoria na prática. Trad. Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

[Gaham, 2011] Charles R. Graham. Theoretical considerations for understanding technological pedagogical content knowledge (TPACK). Computers & Education. 57 (3), 1953-1960, 2011.

[Guimarães, 2014]. Thiago Guimarães. Mecânica Quântica uma breve introdução. Disponível em <simetriadegaugue.blogspot.com/2014/03/mecânica-quantica-uma-breve-introducao.html>. Acesso em 24/12/2018.

[Hewitt, 2015] P. G. Hewitt. Física conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

[Horn, Staker, 2015] Michael B. Horn, Heather Staker. H. Blended: using disruptive innovation to improvise schools. Wiley. @ 2015 by Michael B. All rights reserved.

[Jader, 2003] Textos de apoio ao professor de Física, nº 14, 2003, UFRGS. <<http://lief.if.ufrgs.br/~jader/efeito%20fotoeletrico.pdf>>. Acesso em 26 de outubro de 2017.

[Koehler; Mishra, 2005] Punya Mishra, Matthew j. Koehler. Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/977d/8f707ca1882e093c4ab9cb7ff0515cd944f5.pdf>>. Acesso em novembro de 2018.

[Lima, 2014] Jônatas Dias Lima. Para 70% dos jovens, o bom professor entende de internet e tecnologia. Jornal Gazeta do Povo. Disponível em <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/para-70-dos-jovens-o-bom-professor-entende-de-internet-e-tecnologia-ef0gizas004c5awlqws7rkp5a/>>. Acesso em 16/10/2017.

[Lira, 2016] Bruno Carneiro Lira. Práticas pedagógicas para o século XXI: A sociointeração e o humanismo ético. Rio de Janeiro, Editora Vozes, 2016.

[Bacich, Tanzi, Trevisani, 2015] Lilian Bacich, Adolfo Tanzi Neto, Fernando de Mello Trevisani. Ensino Híbrido: Personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre, Penso, 2015.

[Martins, 2011] Jorge de Sá Martins. Efeito Fotoelétrico: Experiência de Philipp Lenard. Física Moderna UFF. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VCHCOdaXU4k>>. Acesso em dezembro de 2017.

[Martins, 2011] Jorge de Sá Martins. Efeito Fotoelétrico: Postulados de Einstein. Física Moderna UFF. 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=gYTUfq5_z7M>. Acesso em dezembro de 2017.

[Martins, 2011] Jorge de Sá Martins. Efeito Fotoelétrico: Função Trabalho. Física Moderna UFF. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=n-jOh0Qr2tQ>>. Acesso em dezembro de 2017.

[Martins, 2011] Jorge de Sá Martins. Efeito Fotoelétrico: Exemplos. Física Moderna UFF. 2011. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=zQ8az4zapg&index=4&list=PL99AB8C9CF1BE95DB>>. Acesso em dezembro de 2017.

[Mantovani, 2015] Kátia Cristina Cota Mantovani. Material didático de pós-graduação faculdade Prominas. Editora Prominas, 2015.

[Mataveli, Oliveira, Pereira, Moraes, 2013] Guilherme Mataveli, Gabriel Pereira, Bruno Oliveira, Elisabete Moraes. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/280715217_Analise_da_radiancia_espectral_da_potencia_radiativa_do_fogo_e_da_energia_radiativa_do_fogo_emitida_pela_queima_da_palha_da_cana-de-acucar_a_partir_de_experimento_de_combustao_em_pequena_escala>. Acesso 24/12/2018.

[Mayer, 2014] Maximiliano Mayer. Quais as diferenças entre as gerações X, Y e Z e como administrar os conflitos? Disponível em <www.oficinadanet.com.br>. Acesso em 24/07/2018.

[Mazon, 2012] M. J. S. Mazon. TPACK (Conhecimento Pedagógico de Conteúdo Tecnológico): Relação com as diferentes gerações de professores de Matemática. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Educação para Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2012. Mishra, Punya; Koehler, Matthew J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017-1054, 2006.

[Monterio, Bastos Filho, 2009] Maria Amélia Monteiro, Roberto Nardi, Jenner Barretto Bastos Filho. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos.

[Morán, 2013] José Morán. Mudando a educação com metodologias ativas. Disponível em <http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf>. Acesso: março de 2018.

[Moreira, 2011] Marco Antônio Moreira. O que é afinal aprendizagem significativa. Disponível em <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>>. Acesso em abril de 2018.

[Moreira, 2011] Marco Antônio Moreira. Teorias de aprendizagem. 2ª edição. ampl. – São Paulo. EPU, 2011.

[Novaes, Studart, 2016] Marcel Novaes, Nelson Studart. Mecânica Quântica Básica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. –(Série MNPEF).

[Nussenzveig, 1998] H. Moysés Nussenzveig, Curso de Física Básica-vol.4. 1ª Edição. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

[Okuno, 1998] Emiko Okuno. Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios. São Paulo: Editora Harbra 1998.

[Oliveira, Araújo, Veit, 2016] Tobias Espinosa de Oliveira, Ives Solano Araújo, Eliane Ângela VEIT. Sala de aula invertida (flipped clasroom): Inovando as aulas de física. Física na Escola, v. 14, n. 2, 2016 Disponível em <<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol14-Num2/a02.pdf>>. Acesso em: abril de 2018.

[Oliveira, Saraiva, 2013] Kepler de Oliveira, Maria de Fátima Saraiva. Astronomia & Astrofísica. 3ª edição. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.

[Ouchana, 2015] Deborah Ouchana. Revista Educação, 19 de outubro de 2015.

[PCN, 2006] Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias / Secretaria de Educação Básica. – Brasília : Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. (Orientações curriculares para o ensino médio ; volume 2). Disponível em

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 18/12/2018.

[Peruzzo, Pottker, Prado] Jucimar Peruzzo, Walmir Eno Pottker, Thiago Gilberto do Prado. Física moderna e contemporânea: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da física: volume 1. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

[Planck, 1950] Max Planck, Scientific autobiography and other papers, Wilians and Norgate, London, 1950.

[Polito, 2016] Antony M. M. Polito. A Construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. –(Série MNPEF). Volume 2.

[Ramalho, Nicolau, Toledo, 2007] Francisco Ramalho Júnior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio Toledo. Os Fundamentos da Física. Vol.2. 9ª Edição revista e ampliada. São Paulo: Editora Moderna, 2007.

[Ramalho, Nicolau, Toledo, 2007] Francisco RAMALHO Júnior, NICOLAU Gilberto Ferraro, Paulo Antônio TOLEDO. Os Fundamentos da Física. Vol.3. 9ª Edição revista e ampliada. São Paulo: Editora Moderna, 2007.

[Rino, Studart, 2007] José Pedro Rino, Nelson Studart, 2007. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol8/Num1/v08n01a05.pdf>>. Acesso em julho 2018.

[RPE&GN, 2017] Revista Pequenas Empresas & Grandes Negócios de agosto de 2017 pág. 63.

[Sabino, Roque, 2006] Marilei Amadeu Sabino, Araguaia S. de Souza Roque. A teoria das inteligências múltiplas e sua contribuição para o ensino de língua italiana no contexto de uma escola pública. Disponível em <www.unesp.br/prograd/PDFNE2006/artigos/capitulo3/ateoriadasinteligencias.pdf>. Acesso em: julho de 2018.

[Santos, Egídio, 2016] Luciane Mulazani dos Santos, Sidnéia Valero Egídio. Conhecimento pedagógico e tecnológico do conteúdo. Disponível em <www.revistas.udesc.br/index.php/colbeduca/article/download/8330/6140>.

Acesso em: 13 de outubro de 2018.

[Schiehl, Gasparini, 2016] Edson Pedro Schiehl, Isabela Gasparini. Contribuições do Google sala de aula para o ensino Híbrido. Disponível em <<https://seer.ufrgs.br/renote/article/viewFile/70684/40120>>. Acesso em: 21 de março de 2018.

[Silva, 2015] Débora Silva. Energia irradiada. Disponível em <<https://www.estudopratico.com.br/energia-irradiada-lei-do-deslocamento-e-irradiacao-termica/>>. Acesso em 24/12/2018.

[Tipler, Mosca] Paul A Tipler, Gene Mosca. Física par cientistas e engenheiros, volume 3: física moderna; tradução e revisão técnica Márcia Russman Gallas. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[Trefil, Hazen, 2006] James Trefil, Robert M. Hazen. Física Viva v.2: uma introdução à física conceitual; tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

[Turra, 2015] Maria Elisa Almeida Turra. A personalização no processo de ensino e aprendizagem. Revista TecEdu nº 9 – setembro/2015.