

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA – DF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA – POLO 31

O ensino da física moderna: o Efeito Fotoelétrico,
a partir da Metodologia Fedathi.

JUAZEIRO DO NORTE
OUTUBRO DE 2022

O ensino da física moderna: o Efeito Fotoelétrico, a partir da Metodologia Fedathi.

Edson Pereira de Morais

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física na Universidade Regional do Cariri – MNPEF Polo 31, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

Juazeiro do Norte – CE
Outubro de 2022

O ensino da física moderna: o Efeito Fotoelétrico, a partir da Metodologia Fedathi.

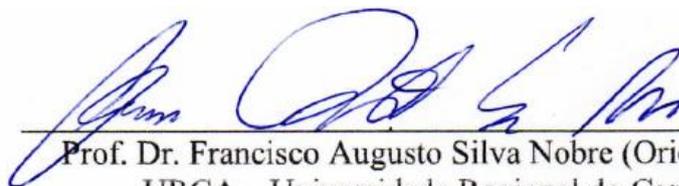
Edson Pereira de Moraes

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física na Universidade Regional do Cariri – MNPEF Polo 31, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

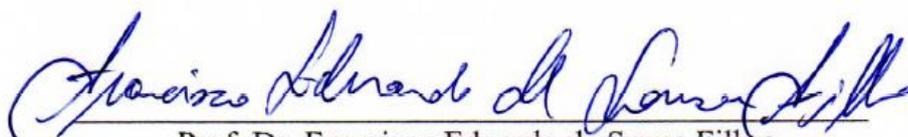
Aprovada por:



Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre (Orientador)
URCA – Universidade Regional do Cariri

Documento assinado digitalmente
gov.br HERMINIO BORGES NETO
Data: 31/10/2022 14:24:11 -0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Hermínio Borges Neto
UFC – Universidade Federal do Ceará



Prof. Dr. Francisco Eduardo de Sousa Filho
URCA – Universidade Regional do Cariri

Juazeiro do Norte – CE
Outubro de 2022

Ficha Catalográfica elaborada pelo autor através do sistema
de geração automático da Biblioteca Central da Universidade Regional do Cariri - URCA

Morais, Edson PEREIRA DE

M828e O ensino da física moderna: o Efeito Fotoelétrico, a partir da Metodologia Fedathi / Edson PEREIRA DE Moraes. JUAZEIRO DO NORTE - CE, 2022.

105p. il.

Dissertação. Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Regional do Cariri - URCA.

Orientador(a): Prof. Dr. FRANCISCO AUGUSTO SILVA NOBRE

1. Ensino de Física, 2. Efeito fotoelétrico, 3. Sequência Fedathi; I. Título.

CDD: 370.7

“Eu acredito na intuição e na inspiração.
A imaginação é mais importante que o conhecimento.
O conhecimento é limitado,
enquanto a imaginação abraça o mundo inteiro,
estimulando o progresso, dando à luz à evolução.
Ela, é rigorosamente falando,
um fator real na pesquisa científica.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A DEUS pelo sopro da vida, pela luz do Espírito Santo que me conduz, me orienta e dá forças para enxergar o próximo em suas entranhas, ser sensível às suas necessidades e me induz ao bem, a ser melhor cada dia, para servir ao outro com tudo o que tenho de especial, pois tudo vem de Ti.

Ao meu orientador professor Francisco Augusto Silva Nobre, pela dedicação, compromisso, orientações e conselhos, sem os quais certamente não concluiria mais uma etapa da minha vida acadêmica. Sou muito grato pelos ensinamentos, pelos diálogos e pela troca de experiências.

À Universidade Regional do Cariri (URCA), à Sociedade Brasileira de Física (SBF), ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela contribuição na minha formação enquanto professor de Física (Ciências da Natureza).

Ao Departamento de Física da Universidade Regional do Cariri – URCA, pelo apoio sempre que necessário e o comprometimento em fazer o programa de mestrado crescer em meios a tantos desafios.

Aos professores Cláudio Dantas, Carlos Emídio, Noélia Santos, Jamil Saade, Job Saraiva e Francisco Eduardo, pelos valiosos conhecimentos transmitidos ao longo das aulas do Mestrado.

À Anthony Gleydson, aluno do Mestrado Profissional em Ensino de Física URCA, meu colega de sala, pela contribuição, empenho e dedicação na construção da fundamentação teórica, onde tínhamos a linha de pesquisa em comum.

Ao Grupo de Estudo de Sequência Fedathi do Departamento de Física da URCA, pelas trocas de experiências e momento de aprendizado. Ao meu grande amigo e incentivador Thiago Arrais, sem suas palavras de fomento talvez não teria cursado o Mestrado, pelo menos a esse tempo.

A Escola de Referência em Ensino Médio Josias Inojosa de Oliveira de Araripina, aos meus ex-colegas de trabalho Joaldo, Paula Rebeca, Maidjackson, em especial a minha amiga Francisca Idênia e família pelo apoio e incentivo inicial. A Escola de Referência em Ensino Médio Artur Barros Cavalcanti de Bodocó, ambas de Pernambuco, bem como colegas de ofício, por permitir que eu aplicasse a intervenção pedagógica em suas aulas regulares.

Aos meus queridos alunos, pelo carinho com que receberam a proposta e participaram das aulas com bastante entusiasmo e alegria.

Aos colegas do mestrado que compartilharam conhecimento, metodologias inovadoras, amizade, alegria e descontração mesmo diante de obstáculos intelectuais, emocionais e financeiros que surgiram no percurso. Especialmente, à Felype, Emanuel e Daniel, pela cumplicidade.

Aos meus amigos Paulo Henrique, Renata Viana, Maximiliano, Isabel, Cícero Carlos, Eliane, Samuel Mariano, Herlys Rafael, Marcus Vinícius, Jânio e Iaponira pelas palavras de motivação e troca de experiências metodológicas ao longo dessa caminhada.

Aos meus familiares Pai, Mãe, irmãos(ãs), e de modo muito especial, a minha filha Laura Viana, meu maior incentivo atualmente, e esposa Raiana Viana, pelo incansável apoio, cumplicidade e parceria. Nada teria sido possível sem sua opção em apostar em mim.

A todos aqueles, que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho.

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

RESUMO

O ensino da física moderna: o Efeito Fotoelétrico,
a partir da Metodologia Fedathi.

Edson Pereira de Morais

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física na Universidade Regional do Cariri – MNPEF Polo 31, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Assuntos como Astronomia e Física Moderna despertam a curiosidade dos alunos do ensino médio. Buscamos neste trabalho desenvolver uma proposta para o ensino de tópicos de Física Moderna, em especial do Efeito Fotoelétrico, incluída numa disciplina eletiva, a partir da Sequência Fedathi. Esta que é uma metodologia de ensino, com enfoque na prática docente em sala de aula e que tomou notoriedade a partir dos trabalhos do Laboratório de Pesquisa Multimeios, na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Ceará, sob coordenação do professor Hermínio Borges Neto. O público-alvo escolhido para aplicação da intervenção pedagógica foi formado por 28 alunos dos 2º e 3º anos do Ensino Médio de uma escola pública da rede estadual do Pernambuco, localizada na cidade de Bodocó. A aplicação ocorreu durante as aulas que foram ministradas nessa turma. Foram elaboradas com base em Oito (08) encontros. No primeiro encontro, foi efetuado o levantamento acerca do conhecimento prévio dos alunos sobre luz e suas principais características por meio de um teste de sondagem. No segundo e terceiro encontro foi apresentado os conceitos físicos necessários acerca da natureza corpuscular e ondulatória da matéria (luz), sua relação com as cores, frequências e radiação eletromagnética. No quarto encontro, aplicou-se um novo teste de sondagem, no intuito de verificar o quanto o aluno assimilou do conteúdo. A partir de então vieram os encontros de aplicação da Metodologia Fedathi (5º, 6º e 7º), a partir de situações-problemas os alunos eram levados a pesquisar, refletir e propor soluções ao que foi proposto. Por fim, no último encontro, tivemos uma breve discussão sobre o que metodologia empregada significou para eles. O produto educacional (Portal Interativo de Física Moderna), contendo textos e simuladores virtuais, foi fundamental para embasar as discussões e servir de referencial bibliográfico aos discentes. E não podemos esquecer que todo esse processo foi viável e ocorrido em ambiente virtual, haja vista, que estávamos impossibilitados do encontro presencial em virtude da pandemia da Covid-19.

Palavras-chave: Ensino de Física, Efeito fotoelétrico, Sequência Fedathi

Juazeiro do Norte – CE
Outubro de 2022

ABSTRACT

The teaching of modern physics: the Photoelectric Effect,
from the Fedathi Methodology.

Edson Pereira de Morais

Supervisor:

Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

Abstract of master's thesis submitted to the Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física da Universidade Regional do Cariri - MNPEF Polo 31, as part of the necessary requirements to obtain the degree Mestre em Ensino de Física

Subjects such as Astronomy and Modern Physics arouse the curiosity of high school students. We seek in this work to develop a proposal for the teaching of Modern Physics topics, especially the Photoelectric Effect, included in an elective subject, based on the Fedathi Sequence. This is a teaching methodology, with a focus on teaching practice in the classroom and which gained notoriety from the work of the Multimedia Research Laboratory, at the Faculty of Education of the Federal University of Ceará, under the coordination of Professor Hermínio Borges Neto. The target audience chosen for the application of the pedagogical intervention was formed by 28 students from the 2nd and 3rd years of High School from a public school in the state network of Pernambuco, located in the city of Bodocó. The application took place during the classes taught in this class. They were prepared based on eight (08) meetings. In the first meeting, a survey was carried out on the students' prior knowledge about light and its main characteristics through a probing test. In the second and third meetings, the necessary physical concepts were presented about the corpuscular and wave nature of matter (light), its relationship with colors, frequencies and electromagnetic radiation. In the fourth meeting, a new polling test was applied, in order to verify how much the student assimilated the content. From then on, came the meetings of application of the Fedathi Methodology (5th, 6th and 7th), through problem-situations the students were led to research, reflect and propose solutions to what was proposed. Finally, at the last meeting, we had a brief discussion about what the methodology used meant to them. The educational product (Interactive Portal of Modern Physics), containing texts and virtual simulators, was fundamental to support the discussions and serve as a bibliographic reference for the students. And we cannot forget that this whole process was feasible and carried out in a virtual environment, given that we were unable to meet in person due to the Covid-19 pandemic.

Keywords: Physics education, Photoelectric effect, Fedathi sequence.

Juazeiro do Norte – CE
Outubro de 2022

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 02 – O EFEITO FOTOELÉTRICO	14
CAPÍTULO 03 – A METODOLOGIA FEDATHI	26
CAPÍTULO 04 – METODOLOGIA DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA	33
CAPÍTULO 05 – INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	43
CAPÍTULO 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	72
ANEXO 01 – AS LUZES DA CIDADE.....	73
ANEXO 02 – COMO SÃO LIGADAS AS LUZES PÚBLICAS?.....	75
ANEXO 03 – SIMULADOR VIRTUAL N. 01 (Efeito Fotoelétrico)	77
APÊNDICES.....	78
APÊNDICE A – TESTE DE SONDAÇÃO SOBRE LUZ.....	79
APÊNDICE B – TESTE DE SONDAÇÃO SOBRE FÍSICA ATÔMICA.....	82
APÊNDICE C – MATERIAL INSTRUCIONAL DO PRODUTO EDUCACIONAL	85

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo a LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira) N° 9.394/96, em seu artigo 35°, aponta as principais finalidades do Ensino Médio, como sendo a consolidação e aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, além da preparação para o trabalho e cidadania, o aprimoramento da formação ética, do desenvolvimento intelectual e do pensamento crítico, em especial a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos, relacionando a teoria com prática em cada disciplina.

LDB N.º 9.394/96 estabelece em seu Art. 35. O ensino médio, etapa final da educação básica, com duração mínima de três anos, terá como finalidades:

I - a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;

II - a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III - o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV - a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Entretanto tem-se um ideário de educação hoje muito distante da realidade que se apresenta nas escolas públicas, e em especial do Ensino Médio, como etapa final da educação básica. Universalizou o acesso, mas o ensino, a contextualização e os meios que se dispõem para o repasse dos conteúdos continuam ultrapassados.

Os métodos de abordagem dos conteúdos, ou seja, a didática utilizada muitas das vezes não tem sido eficiente em seu uso. Particularmente na área do ensino da Física, onde nessa etapa, os estudantes precisam fazer uso dos conhecimentos científicos adquiridos para entender o funcionamento das máquinas, da tecnologia e do processo de transformação da sociedade que o rodeia. No entanto nos barramos em diversos entraves, desde a formação do profissional e suas heranças trazidas de uma educação falha até os aspectos mais comuns, atualmente como, estrutura, permanência e evasão escolar.

O que se percebe notoriamente, é a existência de um grande hiato entre teoria e prática no processo de ensino de Física das escolas públicas. E o professor sabe que o seu papel é

fundamental na redução dessa diferença existente. Por muitos anos a educação tecnicista predominou, a reprodução dos conteúdos e a memorização de textos, fórmulas, conceitos, leis e algoritmos. Muito também se deve ao fato de o docente precisar conciliar uma carga horária excessiva com uma gigantesca matriz curricular de eixos e conteúdo para o ano letivo. Muito exigido pelos cronogramas de processos seletivos para acesso ao ensino superior das universidades.

Isso vai exigir de nós, professores de Física (ciências), um resignificar-se, iniciar um processo de ruptura do ensino tradicional para a conversa com as outras disciplinas, através dos projetos interdisciplinares e transdisciplinares. É preciso dialogar com as demais áreas do conhecimento afim de propor uma aula cada mais vez mais próxima da realidade que os cercam. Sendo assim, faz-se necessário a demanda por novas metodologias ensino, que valorizem ainda mais o convívio e integração social aos envolvidos.

Pretende-se, através deste trabalho, abordar conceitos e aplicação da Física Moderna, ora tão distante de ser trabalhado no ensino médio, mas em especial o efeito fotoelétrico que rendeu a Albert Einstein, anos mais tarde, o prêmio Nobel e uma expressiva relevância no mundo da ciência.

E é nesse intento que se faz necessária a experimentação, como comprovação científica do fenômeno físico, no tocante a Física, fazendo uso da Sequência Fedathi como metodologia de ensino, que venham auxiliar a resolução de exercícios em sala de aula ou de procedimentos demandados. A Sequência Fedathi pode significar muito, pois valoriza o planejamento, a aprendizagem significativa e o contexto em que os aprendizes estão inseridos (SOARES in BORGES NETO, 2018). De autoria do Prof. Hermínio Borges Neto (FACED/UFC), a SF foi desenvolvida para auxiliar seus alunos de Matemática, na resolução de problemas, sendo dividida em quatro (04) fases assim conhecidas:

Na **Tomada de Posição**, o professor vai além de citar o tema da aula, ele pode investigar o que os alunos já trazem de bagagem cultural (*plateau*), e apresenta situações problematizadoras com vistas à sua mediação.

Na **Maturação**, o professor possibilita que os alunos desenvolvam a prática investigativa, tracem hipóteses a partir do debruçamento do tema, intervindo quando necessário ou solicitado, a partir de contraexemplos.

Durante a **Solução**, espera-se que a colaboração seja o instrumento chave para o alcance dos objetivos, sem deixar de notar que o erro é passível de existir, sendo uma porta para a reformulação de conceitos.

Na **Prova**, espera-se sistematizar os conceitos, as conclusões afins de tomar novas posições a partir do que foi gerado na discussão, e ainda possibilita a reorganização das novas sessões (ações), conforme o trazido pelos alunos, ampliando as considerações propostas nas etapas anteriores.

Pretende-se, portanto, adquirir os materiais necessários e fazer uso de simuladores interativos do Projeto Virtual PhET¹ para as demonstrações. Será feito uso da sequência de ensino supracitada, para investigar eventuais potenciais didático-pedagógico dessas ferramentas nas aulas de Física, sendo os alunos, os agentes ativos desse processo de ensino-aprendizagem.

Nas secções seguintes traremos uma breve revisão de literatura, bem como abordaremos um pouco mais sobre a origem e aplicação da Sequência de Ensino utilizada (Fedathi) de autoria do Prof. Hermínio Borges Neto, e a descrição de todo o processo de intervenção para o ensino de Física Moderna, em especial do efeito fotoelétrico.

No capítulo 02, trataremos de fazer uma revisão de literatura, uma breve discussão histórico-científica sobre a natureza da luz até as descobertas e contemplações de Albert Einstein.

No capítulo 03, teoricamente fundamentaremos nosso trabalho, abordando detalhadamente as características que compõe a Sequência Fedathi e seus desdobramentos de atenção a ação pedagógica do professor em sala de aula.

No Capítulo 04 serão apresentados os resultados da análise das respostas dadas pelos alunos nos questionários e roteiros de atividade, bem como uma avaliação geral de todo processo. E, por fim, no Capítulo 05, apresentaremos um esquema para execução e utilização do produto educacional.

¹ O PhET *Interactive Simulations*, um projeto da Universidade do Colorado Boulder (EUA), é um projeto de recursos educacionais abertos sem fins lucrativos que cria e hospeda explicações exploráveis.

CAPÍTULO 02 – O EFEITO FOTOELÉTRICO

A física clássica, por muito tempo, respondeu as indagações de muitos cientistas, no tocante aos fenômenos naturais e físicos de ordem macroscópica, o que nos é familiar. Seus conceitos convergem ao nosso cotidiano, devido sua forma intuitiva de abstrair as explicações. No entanto, ainda permeava dúvidas, ao descrever fenômenos em escala microscópica. Isso era perceptível ao considerar o modelo atômico, onde elétrons se movem ao redor do núcleo em órbitas circulares. Para a Mecânica Clássica, uma partícula em movimento curvilíneo tem aceleração centrípeta e, de acordo com a Teoria Eletromagnética Clássica, essa partícula estando carregada, e com aceleração, passa a emitir continuamente radiação eletromagnética.

Como sabemos, essa radiação transporta energia, e o conteúdo energético, ao decorrer do tempo, diminui. Assim, os elétrons vão perder até colidirem com o núcleo do átomo. Conclusão, sendo a física clássica, os átomos são instáveis. Portanto, a partir desse exemplo, já se mostra necessário uma nova física, ou pelo menos, novas explicações para os fenômenos atômicos, situações que envolvem partículas de massa muito pequena, e que se movem em espaços cada vez menores.

A física quântica, essa que trouxe radicais mudanças nas ideias fundamentais da física, lida principalmente com fenômenos em escala atômica e subatômica, tratando das repercussões desses fenômenos em nível microscópico. De fato, a física quântica não se parece com nada do que vimos até hoje (NUSSENZVEIG, 2014). Como essa teoria se baseia em resultados experimentais derivados de eventos que, em sua grande maioria, estão além do alcance dos sentidos humanos, não é de surpreender que ela contenha conceitos e ideias que causam estranheza à experiência cotidiana. Um desses conceitos é o de dualidade onda-partícula. O elétron, por exemplo, deve ser considerado como partícula, no experimento de Thomson, que permite determinar sua razão carga/massa, e como onda, no experimento de Davisson e Germer, que permite detectar seus efeitos de difração e interferência.

Aponta Nussenzveig, que os conceitos de partícula e onda provêm da intuição que os seres humanos desenvolveram ao longo do tempo, pela experiência cotidiana com o mundo dos fenômenos físicos em escala macroscópica. Segundo essa intuição, uma partícula se comporta como um projétil. Ela pode ser localizada num ponto do espaço, pode ser desviada e perde ou ganha energia, num certo ponto, pela colisão com outra partícula e não pode exibir qualquer efeito de interferência ou difração. Uma onda se comporta como a perturbação periódica na

superfície da água. O seu conteúdo energético está distribuído de modo contínuo no espaço e no tempo e ela não pode ser localizada num ponto do espaço. Uma onda pode ser difratada e, ao cruzar com outra onda, não é desviada, mas exibe efeitos da interferência.

A Física Clássica incorpora essa intuição humana, de modo que os conceitos de partícula e onda são considerados como sendo mutuamente exclusivos. Em termos gerais, a estranheza dos conceitos quânticos, como o de dualidade onda-partícula, deriva do fato de utilizarmos, na descrição dos fenômenos em escala microscópica, apesar de tudo, certo número de conceitos que se revelaram apropriados para a descrição dos fenômenos em escala macroscópica.

Entender o comportamento da luz desafiou, por muito tempo, diversos cientistas. Foram inúmeras as teorias, os fenômenos observados em busca de uma melhor compreensão. Uma das primeiras teorias em busca de compreender a natureza da luz foi proferida por Platão, ele pensava que a luz consistia em raios emitidos pelos próprios olhos. Ponto de vista este reforçado por Euclides anos mais tarde, enquanto a escola pitagórica acreditava que a luz era oriunda de corpos luminosos enviados em forma de pequenas partículas. Enfim, foram muitos anos de incertezas, questionamentos frente a esse comportamento natural da luz. Há quem, antes mesmo de Platão, no caso Empédocles, pensasse diferente. Foi pioneiro a dizer que a luz seria composta de ondas e com altíssimas velocidades. No entanto, pairava esse mistério a séculos.

O século XVIII permitiu grandes avanços no entendimento e progresso para a ciência como um todo. No que compete a luz, o Sir Isaac Newton a descreve como sendo uma corrente de partículas, ou seja, era naturalmente um fenômeno corpuscular. Consegue concluir isso devido aos seus experimentos sobre polarização e dispersão da luz (Anéis de Newton). Esquece apenas de verificar as propriedades existentes às suas partículas, e que, são inerentes a luz. Percebidas, portanto, por Christian Huygens ainda no mesmo século.

No início do século XIX, o físico britânico Tomas Young, parece comprovar a natureza ondulatória da luz. Com o seu famoso experimento da fenda dupla, onde a luz parecia interagir com o meio (anteparo) em padrões semelhantes a um comportamento ondulatório, dado o surgimento de franjas claras e escuras. Essa ideia ganhou destaque no mundo acadêmico a partir das previsões de James C. Maxwell, onde a luz transportaria energia na vibração de campos elétricos e magnéticos. Ao final do século XIX, Hertz já usava circuitos elétricos, para produzir faíscas, demonstrando assim a existência de ondas eletromagnéticas a partir das frequências de rádio. Somente em 1905, Albert Einstein publica uma série de diversos artigos, em especial o que lhe rendeu o prêmio Nobel (1921), é que fica esclarecido como a luz interage com a matéria. Einstein percebeu que a luz não se propaga como ondas contínuas, mas sim em pequenos “pacotes” de energia, o que mais tarde denominaria de fótons. Para nossa estranheza, isso não

fazia cair por terra as compreensões anteriores, pelo contrário, abria ainda mais a possibilidade do comportamento dual para a luz.

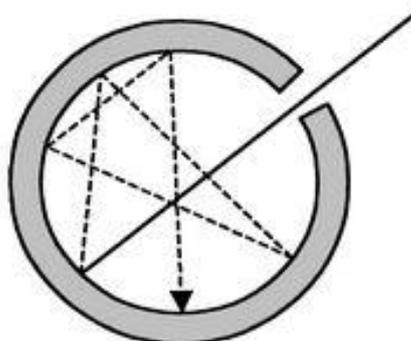
2.1. A hipótese de Planck e o nascimento da Física Quântica

Nos últimos anos do século XIX e início do século XX, diversos experimentos aliados a novas tecnologias, impulsionavam os cientistas para novas descobertas, em especial ao mundo microscópico. A estrutura atômica passou a ser observada ainda mais de perto, logo após as investidas sobre a radioatividade e, a descoberta do elétron em 1897 (tubos catódicos) por Thompson em seu trabalho experimental.

Sabemos que um objeto em qualquer temperatura é capaz de emitir radiação eletromagnética, frequentemente denominada de radiação térmica. A radiação emitida por um corpo aquecido depende não somente da temperatura, mas também do material de que ele é constituído, de forma e da natureza de sua superfície.

Existe um modelo, que serve para examinar a emissão de radiação por aquecimento, com boa aproximação, denominado Corpo Negro, é o interior de um objeto oco e aquecido, onde as paredes da cavidade devem ser mantidas a uma temperatura uniforme, em que a radiação escape por um pequeno orifício em sua superfície, conforme ilustra a figura 2.1 a seguir.

Figura 2.1: Corpo Negro



Fonte: Próprio autor

Os átomos das paredes da cavidade emitem radiação eletromagnética para o seu interior e, ao mesmo tempo, absorvem radiação eletromagnética proveniente dos outros átomos das paredes. Quando a radiação eletromagnética no interior da cavidade atinge o equilíbrio térmico com os átomos das paredes, o conteúdo energético da radiação emitida pelos átomos num dado intervalo de tempo é igual ao conteúdo energético da radiação absorvida no mesmo intervalo

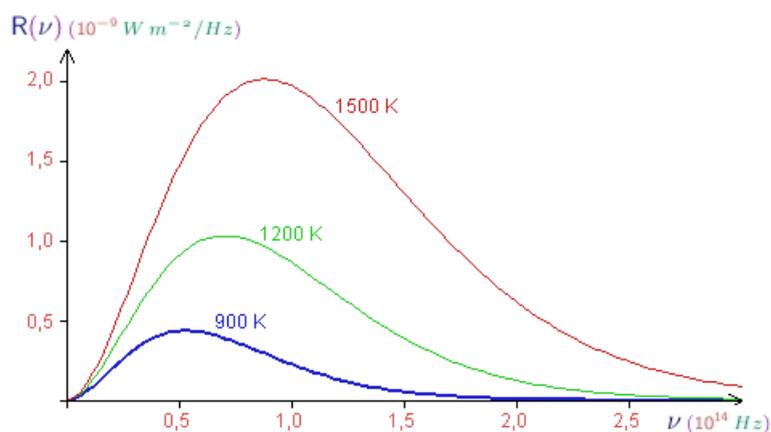
de tempo. Então, a densidade de energia, que é a quantidade de energia da radiação no interior da cavidade por unidade de volume, é constante. Isto significa que a densidade de energia associada à radiação de cada comprimento de onda, ou seja, a distribuição de energia dentro da cavidade é bem definida.

A distribuição de energia não depende da substância de que é feito o bloco. Na verdade, a distribuição de energia depende apenas da temperatura Kelvin do bloco. Abrindo um pequeno orifício numa das paredes da cavidade, podemos analisar a radiação que escapa por ele. A radiação que escapa é uma amostra da radiação no interior da cavidade e, portanto, tem a mesma distribuição de energia. A radiação que escapa do orifício é chamada radiação de corpo negro ou radiação de cavidade.

Define corpo negro como o corpo que absorve toda radiação que nele incide. Como nada reflete, ele aparece, aos nossos olhos, de cor negra e daí vem o seu nome. Assim como é um absorvedor perfeito, um corpo negro é também um emissor perfeito, ou seja, tem uma baixa probabilidade de retorno. Toda radiação que incide no orifício vinda de dentro da cavidade atravessa-o e chega ao exterior. Como absorve toda radiação que vem de dentro da cavidade e emite essa mesma radiação para fora, o orifício é um corpo negro.

Experimentalmente foi comprovado, de maneira simples, a radiância² espectral emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico. Acompanhe a figura 2.2 abaixo:

Figura 2.2. Radiância Espectral de um corpo negro em equilíbrio térmico



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/radTerm/aRadTermResText.htm

² Radiância é uma medida radiométrica usada para descrever a quantidade de radiação eletromagnética que passa por ou é emitida em uma área em particular de um corpo. A Unidade Internacional utilizada para medir a radiância é watt por esferorradiano por metro quadrado.

Disponível em < http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/radTerm/aRadTermResText.htm >

Nele encontramos a quantidade de energia emitida por unidade tempo e por unidade área (Wm^2) para cada intervalo de frequência (Hz) dessa radiação que é emitida pelo corpo negro. Nota-se que cada temperatura (K) é representada por cada curva em particular. Quanto maior a temperatura maior a amplitude de sua radiância. Percebe-se também que para frequências pequenas, temos baixa radiância. Cada curva apresenta um pico de radiância, e ela vai aumentando conforme a temperatura do corpo negro, bem como o aumento na frequência para determinação desse pico em radiação de altas temperaturas. No decurso do experimento, vemos que essa radiação decai com o aumento da frequência, ou seja, frequências muito grandes tem pouquíssima energia na radiação de corpo negro.

Então como explicar esse comportamento, o espectro é contínuo, mas a coloração dominante se desloca para frequências mais elevadas em função da temperatura elevada. Daí surge algumas tentativas fenomenológicas, baseadas apenas nos resultados experimentais, para explicação. A primeira delas é de Wein, de que a frequência máxima aumenta proporcionalmente à temperatura. Acompanhe a relação de proporção na equação 2.1 a seguir:

$$v_{max} = C_w T \text{ com } C_w = 5,9 \cdot 10^{10} \text{ HzK}^{-1} \quad (2.1)$$

Outra possível explicação foi dada por Stefan-Boltzmann, que diz que o potencial de emissão cresce com a quarta potência da temperatura. Veja sua formulação na equação 2.2 abaixo:

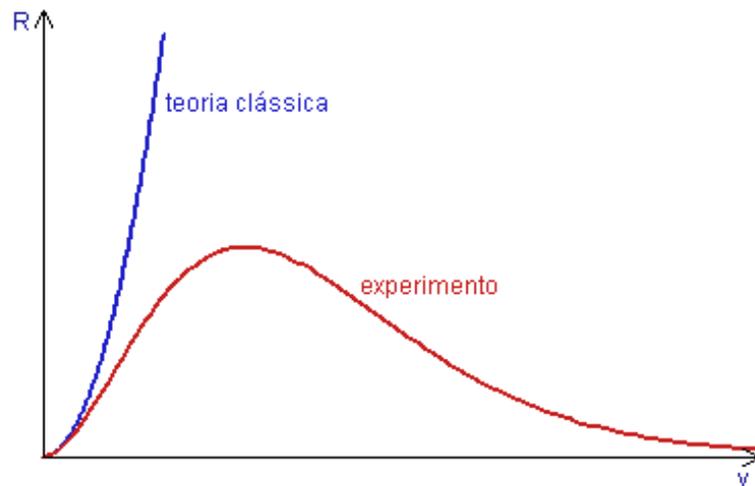
$$P = \int R(\nu) d\nu = \sigma T^4 \text{ com } \sigma = 5,679 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4} \quad (2.2)$$

Aqui se observa a energia de todo o espectro, não só de uma frequência. Essas foram as hipóteses experimentais para tal solução ao problema.

Uma tentativa, oriunda da teoria clássica, também foi verificada. Proposta por Rayleigh-Jeans, baseada no princípio de equipartição de energia da teoria da energia cinética de gases. No formalismo proposto, em suma na equação 2.3, seguida da curva gerada por ela, percebemos que a radiância depende da temperatura bem como da frequência ao quadrado.

$$R(\nu) = kT \cdot \left(\frac{2\pi}{c^2}\right) \nu^2 \quad (2.3)$$

Figura 2.3: Radiância espectral do corpo negro: fracasso da teoria clássica



Fonte: http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/radTerm/aRadTermResText.htm

Dessa forma chegamos algumas conclusões, ao analisarmos o gráfico que equação a define, vemos que a comprovação só é válida para pequenas energias, ou seja, ela reproduz o que acontece no corpo negro para pequenas frequências. No entanto, quando se aumenta a frequência o gráfico vai fugindo dessa validação. É o que chamamos de “catástrofe ultravioleta”, ou seja, a potência de emissão vai ao infinito quando temos frequências extremamente altas, sendo que na experiência ela precisa ir a zero. Então temos um problema proposto, a lei de Rayleigh-Jeans não consegue explicar, completamente, a radiação do corpo negro.

Enfim, no início do século XX, mais precisamente no final ano de 1900, o Max Planck ousa e apresenta uma hipótese, de que a energia da onda emitida pelos átomos oscilantes é quantizada. Encontra-se, portanto, a equação 2.4 para radiância espectral do corpo negro expressa por:

$$R(\nu) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2 \left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)} \quad (2.4)$$

Note que, encontramos $e^{\frac{h\nu}{kT}}$, o fator de Boltzman, pois dado uma temperatura T de equilíbrio termodinâmico elimina a catástrofe ultravioleta, pois reduziria exponencialmente as trocas de energia.

Ele afirma, categoricamente, que aquelas ondas eletromagnéticas emitidas não podem ter qualquer tipo de energia, ela só pode ter um determinado valor, ou duas vezes aquele pacote de energia, ou três vezes, e assim sucessivamente, ou seja, as ondas eletromagnéticas emitidas por um corpo negro têm que ser múltiplos inteiros de um valor fixo de energia. É o que se denomina “*quantum*” de energia, que de acordo com essa ideia, cada “pacote” de energia é proporcional à sua frequência de radiação. Verifiquemos a equação 2.5 abaixo:

$$E = hv = \hbar\omega \quad \text{com} \quad h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} = 6,62607 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad (2.5)$$

Sendo h a constante de Planck, uma constante fundamental da natureza microscópica, pois serve para estabelecer o mínimo necessário, um limite inferior de energia. É a partir daí que começa toda a revolução provocada pelo surgimento da física quântica ao mundo moderno e contemporâneo.

Embora o postulado da quantização de Planck tenha revolucionado sua época, ainda assim foi incapaz de ser compreensível pela física clássica. Na realidade todo o conjunto de fenômenos e leis, desenvolvidas entre 1900 e 1920, que servem de descrição do mundo microscópico, passa a ser denominado de física quântica. E o estudo do movimento, regido por essas leis fenomenológicas convergiram para a mecânica quântica.

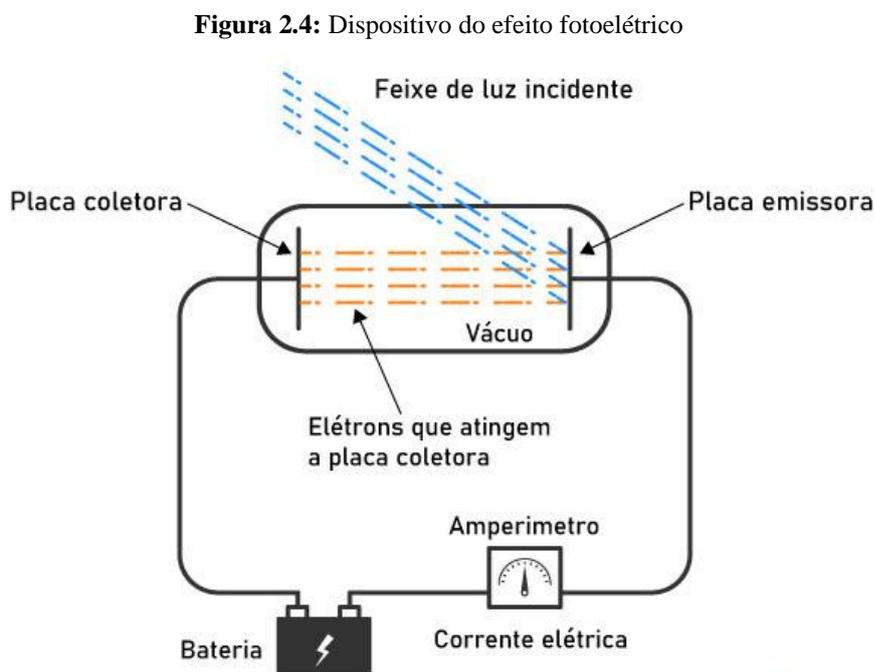
2.2 O Efeito Fotoelétrico

Com o desenvolvimento da teoria eletromagnética, dada a imensa contribuição de Maxwell, pressupondo a existência de que cargas elétricas em movimento gerariam ondas eletromagnéticas, pois suas velocidades escalares eram da ordem da velocidade da luz. Aliado a isso surge, portanto, as primeiras comprovações experimentais da quantização, feita por Hertz, ainda no final do século XIX. Quando ele conseguiu produzir descargas elétricas, liberando, portanto, faíscas de dois eletrodos. Para detectar ele usava uma antena ressoante, e percebia que a produção de faísca era menor quando essa antena, que servia de anteparo, não estava exposta à luz, em especial a ultravioleta, vinda da faísca da antena emissora.

Dessa forma, Hertz dá o primeiro passo na descoberta ao efeito fotoelétrico, percebendo logo que a radiação ultravioleta facilitava a descarga (faíscas) por assim, ser capaz de “arrancar” elétrons da superfície das placas metálicas dos eletrodos, dada uma diferença de potencial entre os eletrodos. Uma comprovação em que, anos mais tarde, teríamos inúmeras situações aplicáveis (acendimento automático dos postes de iluminação pública, sensoriamento remoto

de postas, elevadores, lâmpadas, ...), pois as fotocélulas, conseguem converter sinais luminosos em corrente elétrica.

Em estudos posteriores sua comprovação experimental não estava alicerçada pela física clássica, segundo Lenard (1899) eram diversas as características que divergiam ao que se esperava. Na prática, as fotocélulas só eram ejetadas quando submetidos a um material perfeitamente polido e limpo, ou seja, precisava estar resguardado num ambiente à vácuo. Numa típica experiência, os eletrodos são confinados numa ampola de material transparente, e exposto a luz ultravioleta, quando se estabelece uma diferença de potencial V e projeta ao cátodo uma luz de uma dada frequência ν e intensidade I_0 , verifica-se uma corrente elétrica i . Acompanhe a figura 2.4 a seguir:

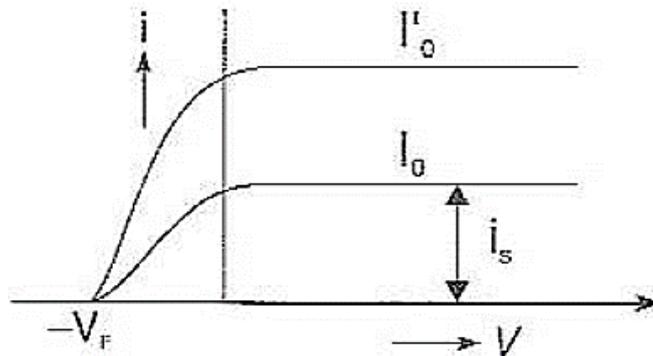


Fonte: Disponível em <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-efeito-fotoeletrico.htm>>

De acordo com a experiência, para uma dada frequência ν , intensidade I_0 e material que constitui o cátodo (placa emissora) fixa, os fotoelétrons são plenamente ejetados pela luz e coletados pelo ânodo (placa coletora), isso quando a diferença de potencial V é maior que zero, ou seja, positiva. Essa corrente fotoelétrica pode ser medida em função da diferença de potencial, registrado pelo amperímetro da figura 2.4, pois ao ser máxima, denominamos de corrente de saturação. Caso diminua a diferença de potencial V , nem todos os elétrons são ejetados.

No entanto, se invertermos a polaridade da voltagem, ou até mesmo para valores negativos de V , que sejam pequenos, a corrente fotoelétrica tende a diminuir, não imediatamente, permitindo ainda fluidez, causando assim uma espécie de frenagem dos elétrons (potencial de frenagem), mesmo com o aumento da diferença de potencial. É o que mostra a figura 2.5 a seguir:

Figura 2.5: Corrente de saturação e potencial de corte

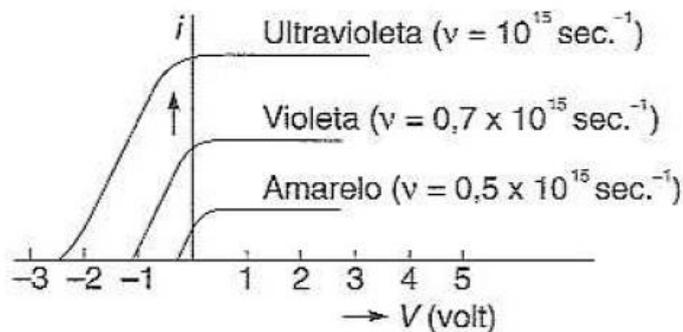


Fonte: Moysés Nussenzveig, Vol. 4

Outra variável a ser observada é a intensidade luminosa. Caso aumentemos sua intensidade nota-se que o formato da curva não se altera, isto implica dizer que o aspecto qualitativo da curva mesmo não mudando, mas sua intensidade é diretamente proporcional a corrente elétrica gerada, ou seja, o número de fotoelétrons ejetados cresce na mesma proporção.

Percebemos ainda que quanto ao fator frequência ν da luz incidente, este altera substancialmente o potencial de frenagem dos elétrons. Quanto maior a frequência maior esse potencial. Verifiquemos alguns exemplos na figura 2.6 a seguir:

Figura 2.6: Variação de i com a frequência ν



Fonte: Moysés Nussenzveig, Vol. 4

Sem esquecer que o material que constitui a placa coletora também é determinante ao retardando da ejeção dos elétrons. Para a maioria dos metais, o fenômeno só se evidencia sob a luz violeta e ultravioleta, ou seja, o esse potencial de frenagem varia de acordo com cada substância.

Sabemos que quando um elétron com carga e vai do cátodo ao ânodo, este ganha energia potencial eV , que por sua vez perde energia cinética, dada uma certa diferença de potencial. Caso essa diferença de potencial seja maior que a energia cinética com que os elétrons deixam o cátodo, eles podem não chegar ao ânodo. Quando a diferença de potencial invertida aumenta, alcançando um certo valor crítico V_0 , chamado de potencial de corte, a corrente cai a zero, mostrando que os elétrons não saem do foto-cátodo com energias cinéticas maiores que eV_0 , ou seja,

$$E_{m\acute{a}x} = eV_0 \quad (2.6)$$

onde e é a carga elementar e $E_{m\acute{a}x}$, é a energia cinética máxima com que os fotoelétrons são ejetados da superfície. No entanto, quando um elétron é extraído, parte da carga positiva restante tende a atraí-lo de volta, e para isso é necessário dar energia suficiente para se opor essa atração eletrostática. Para freá-lo é preciso usar uma diferença de potencial extra eV_0 .

Experimentalmente foi proposto aumentar a energia disponível para ejetar os elétrons, quando a intensidade da corrente é acrescida, elevando assim a corrente de saturação, o que não acontecia. Sem contar que era para se observar os elétrons sair da superfície mais energético (vibracional) demandando, portanto, uma voltagem negativa maior, com o propósito de reduzir a zero a corrente.

O experimento negou a hipótese, o potencial permanece o mesmo, o que comprova que independe da intensidade da radiação. Com a experimentação feita, por extrapolação, concluiu-se que, somente o comprimento de onda radiante é que interfere inversamente proporcional ao potencial de corte (V_0). Assim entendemos que os elétrons são movidos rapidamente (energia cinética máxima) dependendo exclusivamente do comprimento da onda e não da intensidade da radiação. Concluiu-se que a energia cinética máxima dos elétrons é diretamente proporcional à frequência irradiada.

Essa energia cinética máxima, a posteriori, seria definida a toda energia $h\nu$ fornecida pela radiação menos o trabalho W necessário para ejetar um elétron da placa metálica atrativa do restante de carga. Expressa na equação 2.7 a seguir:

$$eV_o = E - W \quad (2.7)$$

Onde o W representa a constituição do material e denotada por função trabalho.

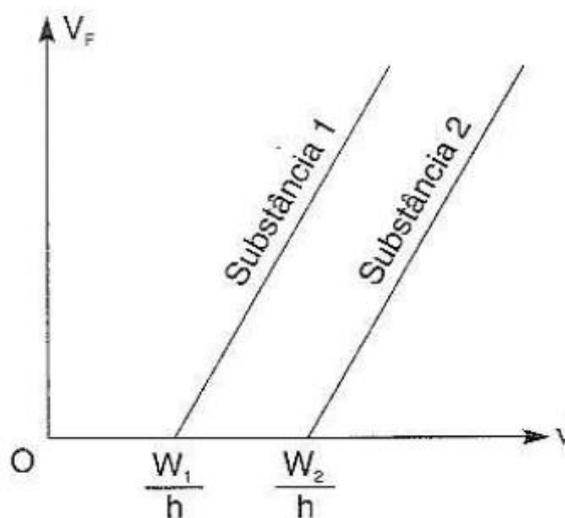
Em 1905, considerado o *Ano Mirabilis*, devido uma série de publicações que revolucionaram os rumos da ciência, Einstein solucionou o problema deixado em aberto por seus predecessores. Planck acreditava que a energia na matéria era quantizada enquanto a radiação era contínua. Einstein conseguiu enxergar, à luz das propriedades quânticas, que a radiação tinha um comportamento granular. Sua hipótese era que a energia transportada por radiação eletromagnética era composta de quantidades individuais e indivisíveis de energia ("pacotes" de energia), cada uma proporcional a frequência de radiação correspondente.

Nas palavras de Einstein: "A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, dessa forma ela conseguiu explicar o aumento do potencial de corte com o aumento na frequência. Matematicamente agora temos, na equação 2.8:

$$eV_o = h\nu - W \quad (2.8)$$

Einstein mostrou que a relação linear entre a energia cinética máxima dos fotoelétrons e a frequência poderia ser enfim compreendida. Resultando, portanto, numa reta, onde h representa o coeficiente angular dessa função, ou seja, uma constante de proporcionalidade, onde receberia o nome de constante de Planck. Vejamos na figura 2.7 a seguir:

Figura 2.7: Variação de V_F com ν



Fonte: Moysés Nussenzveig, Vol. 4

Analisando graficamente percebemos que, os gráficos gerados são paralelos, ou seja, matematicamente possuem o mesmo coeficiente angular (constante de Planck h), no entanto sua origem intercepta a frequência (ν) distintos, expressos em W dividida por h . O trabalho “ W ”, aquele necessário para vencer os campos atrativos dos átomos na superfície e perdas de energia cinética durante as colisões internas do elétron.

Essa ideia ganhou um reforço experimental, Millikan precisou de 10 anos para inteirar-se de que o proposto por Einstein havia sido, contrariamente, comprovado por seus estudos. Em suas palavras, Millikan apud H. Eisberg & Resnick:

“O Efeito Fotoelétrico... fornece uma prova de que seja completamente independente dos fatos da radiação de corpo negro da exatidão da suposição fundamental da teoria quântica. a saber, a suposição de uma emissão descontínua ou explosiva da energia absorvida pelos constituintes eletrônicos dos átomos de ... ondas. Ela materializa-se, só para dizer, a quantidade h descoberta por Planck através do estudo da radiação do corpo negro e dá-nos uma confiança inspirada em nenhum outro tipo de fenômeno que o trabalho de Planck subjacente da conceituação física elementar correspondente a realidade.”

Conclui-se, portanto, que a intensidade da luz é proporcional à energia total que transporta, e por conseguinte ao número de fótons, dessa forma explica o porquê da fotocorrente ser diretamente proporcional à intensidade da luz. Assim como foi intitulado em seu artigo, esse ponto de vista heurístico considera estabelecida a hipótese dos fótons, contrariando assim a teoria ondulatória da luz, e laurendo-o com a honraria que o prêmio Nobel oferece no início da década de 20, mais precisamente em 1921.

CAPÍTULO 03 – A METODOLOGIA FEDATHI

A Sequência Fedathi é uma metodologia de ensino, com enfoque na prática docente em sala de aula e, que possibilita uma maior participação dos agentes – Professor e aluno – no contexto escolar. Essa sequência de ensino, descrita como proposta teórica-metodológica, tomou notoriedade a partir dos trabalhos de pesquisa do Laboratório de Pesquisa Multimeios, na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Ceará, sob a coordenação do professor Dr. Hermínio Borges Neto.

Essa proposta metodológica, vai identificar o professor como um mediador no processo de aprendizagem, ao passo que deve oportunizar o aluno na construção do seu próprio conhecimento, uma vez que será estimulado no discente o caráter investigativo, propondo uma ação numa perspectiva transformadora, no que tange o papel de cada um nesse intento. Vale ressaltar que, ao professor cabe conhecer o ambiente de ensino, bem como os sujeitos nele inseridos, os estudantes. A metodologia propõe subsidiar o fortalecimento da prática pedagógica no contexto escolar, possibilitando que ela seja dialogada entre os sujeitos envolvidos – estudantes e professores (SOUSA, VASCONCELOS, BORGES NETO et al, 2013).

Nesse contexto, Borges Neto entende que o aluno, não pode ser mais compreendido com um ser sem luz, para ele, quando o estudante for apresentado a uma situação-problema, ele deverá seguir um algoritmo específico, assim como a Ciência propõe aos matemáticos. É preciso levantar hipóteses, buscar informações que favoreçam tal ocorrência, debruçar sobre caminhos que possam levar à solução, verificar tais erros ou acertos, experimentar os conhecimentos assentados e avaliar os resultados encontrados, podendo incorrer sobre inverdades a ponto de corrigi-los e, por fim, elaborar um modelo geral.

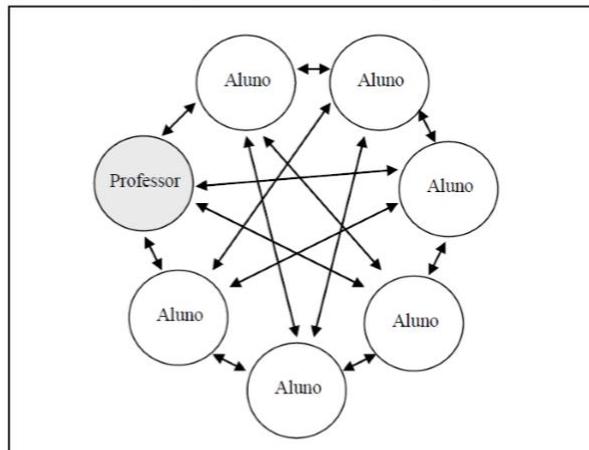
A Sequência Fedathi, foi composta em etapas, que devem ser seguidas e desenvolvidas como um trabalho científico de um matemático. A metodologia foi dividida em quatro etapas sequenciais e interdependentes, denominadas: tomada de posição; maturação; solução e prova. Os alunos, de forma ativa, passam a ser o centro das investidas nesse processo, pois são eles que vão comandar as suas ações que convergirão para a aprendizagem. Logo, serão responsáveis diretos por seu aprendizado, assumindo uma posição autônoma e crítica na sua educação básica. O que cabe aqui ao professor é assegurar essa manifestação, proporcionando-lhes um ambiente propício ao diálogo e a reflexão.

1ª Etapa: Tomada de Posição (Apresentação da situação-problema)

A aplicação da Sequência Fedathi se dá pela apresentação de um problema para um aluno ou um grupo de alunos, de modo que seja possível relacionar a situação proposta com aquilo que se pretende ensinar, ou seja, neste momento é feita a transposição didática. Neste momento também, são estabelecidas as regras implícitas e explícitas entre professor e alunos, fato que implica no estabelecimento do contrato didático para que sejam estruturados as posturas e comportamento entre os agentes do processo. Para nortear o trabalho dos alunos, o professor deverá estabelecer regras na etapa da Tomada de Posição (SOUZA, 2010). Essas regras devem favorecer a realização de um trabalho interativo entre alunos e professor, de forma que estes sujeitos se integrem ao grupo com o intuito de estabelecer uma interação multilateral.

Segundo Bordanave (1993), o professor que se insere no grupo buscando esse tipo de interação desenvolve atitudes como refletir, ouvir, indagar, levantar hipóteses junto aos alunos acerca do saber em questão e, ainda, desenvolve a capacidade de provocar questionamentos sobre estes.

Figura 3.1: *Interação Multilateral* entre professor e aluno



Fonte: Bordanave (1993)

Na Figura 3.1, percebe-se a importância da relação professor e alunos, sendo possível uma interação multilateral que favoreça uma comunicação aberta e, de preferência, acessível para os alunos, por parte do professor. Não esquecendo de notar que, na ilustração o professor sai do centro das atenções e se coloca lado a lado com os alunos, permitindo uma dinâmica dialógica que o inclui, mas que não o evidencia.

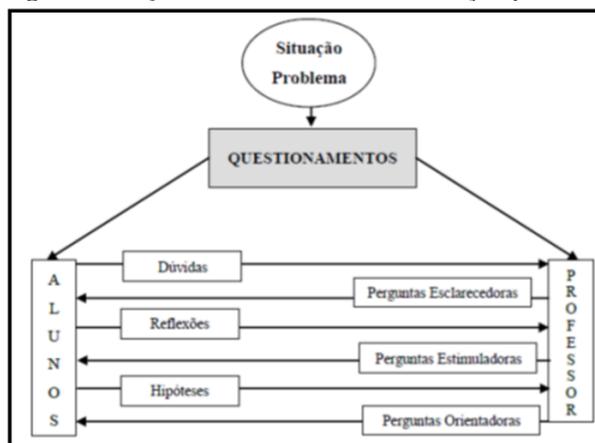
O objetivo da tomada de posição permite aproximar os elementos necessários da imersão cultural do aluno na estrutura de saber que se pretende ensinar, tal processo é essencial ao desenvolvimento da segunda fase.

2ª Etapa: Maturação (Debruçamento e identificação das variáveis envolvidas no problema)

Neste estágio, o estudante deve identificar as variáveis envolvidas no problema apresentadas na fase anterior e a partir desta identificação, gradativamente, cabe ao aluno trabalhar mais sobre o problema em questão, enquanto o professor aos poucos se afasta para que o aluno possa pensar sobre o problema proposto. A partir daí, os alunos deverão identificar os dados contidos no problema, assim como a sua relação com o que está sendo por ele solicitado (SOUZA, 2010). Isso não significa que o professor está livre, mas assumir a postura de observar como os alunos desenvolvem suas atividades.

Para Borges Neto *et al* (2013), o professor deve adotar a postura que ele denomina *mão-no-bolso*, ou seja, uma postura didática de não intervir, pois deve-se favorecer ao estudante o pensar, tentar, errar e colaborar entre seus colegas. Ao que propõe a fase de maturação, cabe, portanto, o debruçamento dos alunos em busca da resolução do problema. O professor deve oportunizar este momento para potencializar e conduzir o desenvolvimento do raciocínio dos discentes, fazendo perguntas com objetivos diferentes, conforme está estruturado e apresentado na Figura 3.2. Ela ilustra, de forma resumida, os tipos de questionamentos que podem surgir durante essa etapa da Sequência.

Figura 3.2: Questionamentos frente a situação-problema



Fonte: Souza (2010)

No que tange os questionamentos dos alunos, as *dúvidas* por exemplo, geralmente surgem quando os alunos logo se deparam com o problema, provavelmente em suas primeiras indagações, pois a partir dali os estudantes poderão trilhar caminhos em busca da solução desejada. As *reflexões* segundo Souza (2010) surgem quando os alunos já elaboraram algum tipo de solução. E como consequência, busca validar suas *hipóteses* junto ao professor.

Compete ao professor, elucidar esses questionamentos com diferentes posições. A principal função das *perguntas esclarecedoras* é possibilitar um *feedback*. Nesse quesito o professor deve perceber como os alunos entenderam sobre o desafio proposto. E, portanto, resta ao professor, aguardar o tempo necessário para que os alunos compreendam e reformulem seu aprendizado, fazendo relação com a situação atual (Souza, 2010).

Ainda sobre os questionamentos assumidos pelo professor, temos as *perguntas estimuladoras*, essa que tem papel fundamental no processo de construção da aprendizagem, pois elas devem instigar o aluno a investigação, a descoberta, estimulando os alunos a pensarem criativamente. E por fim as *perguntas orientadoras*, que busca levar o aluno a tentar relacionar o problema com o caminho a ser seguido, onde o fim é a solução.

Em resumo, para que os alunos organizem suas ideias, levantem hipóteses, façam suas análises e suas reflexões acerca da solução, os questionamentos exercem papel fundamental. Souza (2010) acrescenta ainda que eles são de suma importância para orientar o raciocínio dos alunos, e que durante a segunda etapa da Sequência,

[...] o professor deve estar atento aos alunos, observando e acompanhando seus comportamentos, interesses, medos, atitudes, raciocínios, opiniões e estratégias aplicadas na análise e busca da solução da atividade, bem como suas interpretações e modos de pensar, a fim de perceber quando e como mediar o trabalho que os alunos estão desenvolvendo (SOUZA, 2010, p. 91).

Tanto para que se desenvolva seu raciocínio quanto para uma boa aprendizagem final, o trabalho do aluno na fase de maturação é essencial. Sem ele, o estudante apreenderá as informações de forma temporária e passageira (SOUZA, 2010).

3ª Etapa: Solução (Representação e organização de esquemas, visando à solução do problema)

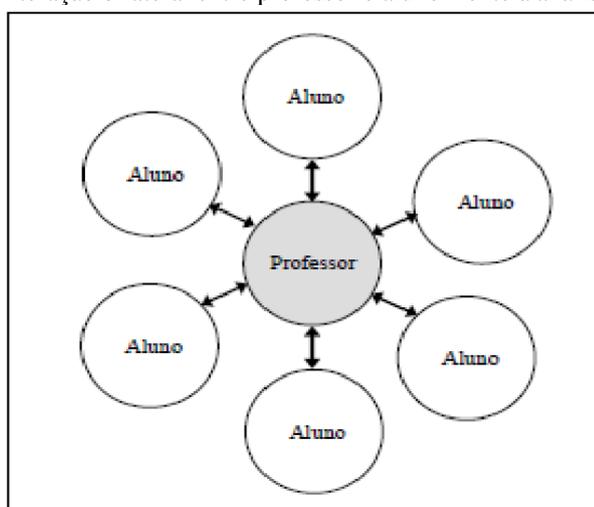
É nessa fase da sequência que, os alunos representarão e organizarão seus esquemas, modelos que possam chegar à solução do problema. Estes esquemas podem assumir diversas formas, sejam elas escritas ou verbais, sejam ilustradas ou demonstradas. E é por meio da troca

de ideias que, o professor como mediador, o uso dos contraexemplos e as exposições de diferentes pontos de vista dos alunos, que a solução pode ser encontrada.

Mas durante esse processo, os alunos podem ter trilhado por caminhos tortuosos, ou seja, que não os levaram a lugar algum, muito menos à solução da problemática. Respostas desviadas, incompletas precisam ser refutadas, a fim, de obtenção do conhecimento real e se caso necessário for, retroceder a etapa anterior e ofertar ainda mais contraexemplos. Para isso, é salutar que o professor estimule seus alunos a explicarem o caminho escolhido por eles, bem como interrogá-los se tal percurso envolve todas as variáveis do problema, suficientemente, para encontrar a resposta em questão. Neste momento, os alunos deverão pensar e refletir, a fim de avaliar tais respostas através de ensaios, erros e tentativas, para assim validarem, com o anúncio do professor, os modelos propostos (SOUZA, 2010).

O Papel da solução na postura do professor é o de Mediador, a fim de apontar a melhor estratégia daquelas apresentadas. Mas junto ao aluno e sua autonomia, frente ao exposto e conseqüentemente desenvolvido individualmente ou pelo grupo. Aqui a interação professor e aluno difere um pouco daquela desenvolvida na Tomada de Posição (*interação multilateral*), aqui pois, as discussões e os debates a respeito da solução devem ocorrer numa *interação bilateral*. Nesse momento, segundo Bordanave (1993), o professor se coloca à frente da organização, da discussão, assim como da análise das soluções elencadas pelos alunos, pelo fato de ser o detentor do conhecimento, conduzindo a elaboração e a apresentação da solução final. Vejamos a figura 3.3 ilustrada pelo autor para sintetizar essa relação.

Figura 3.3: Interação bilateral entre professor e aluno frente à análise das soluções



Fonte: Bordanave (1993)

A análise, a interpretação e a discussão das soluções encontradas, torna-se momento determinante na construção de um novo conhecimento, ou seja, ficará evidenciado ao aluno, as possibilidades de contribuição e reflexão sobre seus constructos. A autora confirma:

A análise das soluções e seus possíveis erros, permitem o aluno conhecer as diferentes formas de interpretação das questões trabalhadas, tornando-os conscientes da resolução correta, além de ajudar a não reincidirem em raciocínios equivocados na resolução de questões semelhantes, é também um momento decisivo para compreenderem e desenvolverem raciocínios matematicamente corretos (SOUZA, 2010, p. 94).

Souza (2010) ainda afirma que, é incontestável a competência do professor e o seu domínio sobre o conteúdo, pois em diversos momentos será colocado em questão sua habilidade de acionar o conhecimento e sincronizar com os saberes ali apresentados.

4ª Etapa: Prova (Apresentação e sistematização de um modelo)

A Prova constitui a culminância do processo de ensino-aprendizagem, no qual conduz o aluno a elaborar o modelo geral do conhecimento. O modelo geral é caracterizado e descrito como “[...] conceito final, representação genérica ou fórmula a ser apreendido pelo aluno, a qual será um objeto de conhecimento tanto para a resolução do problema em questão, como para sua aplicação na resolução de outras situações-problema” (SOUZA, 2010).

A quarta e última etapa da Sequência Fedathi se compreende como um momento de síntese e modelagem, por parte do docente, da situação proposta na Tomada de Posição e dissecada pelas investigações dos discentes. O professor aqui direciona os alunos a formalização, à generalização de um modelo (SOUZA, 2015). Aqui o aluno não participa tão somente da problematização e da exposição resolutiva do professor, mas amadurece e sequencia argumentos, sustentados às vezes na abordagem externa dos demais alunos ou ainda sob conhecimentos encobertos, após contraexemplos pelo professor.

Prova, na Sequência Fedathi, terá o significado de retomar as discussões realizadas sistematizando o conteúdo abordado na Tomada de Posição, ou seja, o objetivo é estabelecer interações cognitivas entre o que foi pensado e o exposto pelos alunos e as verdades explicadas pelo professor.

O estudante deverá ser avaliado nesta última etapa, seja por meio de exercícios orais, escritos, no computador, jogos ou outros. Qualquer que seja a metodologia da avaliação, o exercício precisa permitir que o professor verifique se houve assimilação, por parte do aluno,

do modelo geral apresentado por ele. Só assim o professor verificará se, de fato, a Prova foi o fim do processo ou uma oportunidade de recomeço, tendo base para tal resignificação.

CAPÍTULO 04 – METODOLOGIA DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

De longe que assuntos como Astronomia e Física Moderna despertam a curiosidade dos alunos do ensino médio, em especial nossa turma concludente (3º ano) da escola pública pernambucana, percebemos a carência do ensino da Física Moderna, bem como do entendimento de diversos fenômenos correlatos que os cercam, embora seja contemplado pela proposta curricular do Estado do Pernambuco, porém nunca é visto pelos discentes. Seja por carga horária não cumprida, seja com inoportunidade de professores aptos a lecionar tal conteúdo. A escola já se sente contemplada quando um licenciado na área assume tal componente.

Tendo por base a dificuldade encontrada na inobservância dos assuntos de Física Moderna nos anos finais da educação básica, que será desenvolvida uma intervenção de natureza qualitativa, que verificará as ações desenvolvidas pelos alunos através de atividades, nas etapas propostas pela Sequência Fedathi. Para Minayo (2001), a pesquisa qualitativa busca entender o mundo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis. O professor assim convida o alunado a ser partícipe desse processo de investigação, diante das situações propostas, o que favorecerá consideravelmente a aprendizagem dos entes, em especial do educando.

É nesse contexto que utilizaremos a Sequência Fedathi, criada pelo professor Hermínio Borges Neto, que visa estimular o alunado à pesquisa, à reflexão, à investigação, à colaboração e ainda ao senso de sistematização do conhecimento, ou seja, a Sequência Fedathi intenciona ressignificar os papéis em sala de aula, que por muitos anos, estiveram pautados nos atos de falar e ditar do mestre, na perspectiva tradicional de ensino (BORGES NETO, 2018).

A Sequência Fedathi como metodologia de ensino recomenda que, diante de uma situação desafiante, o aluno se expresse como investigador da problemática proposta, reproduzindo os passos que um algoritmo matemático supõe quando se debruça sobre suas elaborações teóricas. E para tal ação compete listar os dados da questão, deve-se experimentar inúmeros caminhos que nos levem à solução, que se analise erros, busque conhecimentos para se construir a solução, teste os resultados para saber se errou e onde errou, reavalie e monte um modelo.

O processo de intervenção foi planejado para 08 semanas, ou seja, 08 hora-aula, numa turma mista, que integra alunos dos (03) três anos no ensino médio, nos moldes atuais, são denominadas de *eletivas*. Nesses novos itinerários formativos sempre é considerado os interesses do educando, atentos às eventuais mudanças da BNCC (Base Nacional Curricular Comum) que sugere como as competências e habilidades podem ser desenvolvidas em diálogo com a educação integral e o projeto de vida dos estudantes, com o apoio de temas e objetos do conhecimento diversos. Trazendo assim, inovações e estratégias metodológicas que colaboram para o trabalho integrado e contextualizado das áreas do conhecimento e exemplos de objetivos de aprendizagem.

Essa é uma das 08 turmas que integra a Escola de Referência em Ensino Médio (EREM) Artur Barros Cavalcanti da cidade Bodocó-PE. Essa sala pode conter até 40 alunos, a depender da demanda dos mesmos e das unidades físicas oferecidas pela escola. As aulas serão realizadas nos meses de março e abril de 2021, no turno vespertino, com duração de 90 minutos cada, sendo 01 (um) encontro semanal, com as devidas permissões da gestora escolar e com a ciência desse projeto de intervenção, como parte importante no processo de pesquisa do mestrado.

A referida escola, onde realizaremos a intervenção pedagógica, oferece uma carga horária considerável, ela compreende 05 (cinco) dias integrais de 09 (nove) aulas, totalizando 45 horas-aulas semanais, pois trata-se de uma unidade integral no ensino público do estado de Pernambuco, conhecido por conter o maior número de escolas integrais do país, quase sempre, utiliza-se o mesmo dia (quinta-feira) nos diversos anos letivos desde sua implantação, para trabalharmos as turmas de *eletivas*.

Desde o ano letivo de 2020 que, as sondagens sobre essa possível turma e com o provável tema de estudo vem sendo feitos e apresentados aos alunos da escola por inteira, o que vem despertando o interesse de muitos alunos em sua participação. Essa ação precede os encontros de intervenção e de aplicação da sequência de ensino. Visto que a Sequência Fedathi aponta a localização de cada agente nesse processo, sendo o ensino e a aprendizagem construído principalmente pelos discentes, ou seja, os alunos são de fato os verdadeiros protagonistas do seu conhecimento. Enquanto cabe ao professor o papel de esclarecer, estimular e orientar as hipóteses e questionamentos levantadas pelos alunos na busca de solução ao problema proposto. Portanto fica previsto o desenvolvimento das seguintes atividades a serem realizadas:

Em encontros que antecedem a intervenção faz necessário, diagnosticar temas preliminares do ensino da Física Moderna e conhecimentos prévios dos alunos, a sondagem será nosso ponto de partida para tomarmos consciência do que temos e onde precisamos chegar.

Assim ressalta Sousa (2013) no livro Sequência Fedathi – Uma proposta Pedagógica para o Ensino de Ciências e Matemática.

[...] o diagnóstico pode ser realizado por meio de dois momentos, o primeiro em que o professor define quais conhecimentos prévios os alunos deveriam ter para a apreensão do novo conhecimento, e o segundo, a realização da investigação junto aos alunos a fim de averiguar se os estudantes são detentores destes conceitos.

Assim sendo dividiremos esse encontro preliminar em dois momentos, separados por um pequeno intervalo. No primeiro momento será aplicado o teste de sondagem com os discentes, que consiste em verificar em quais condições a matéria (átomo) poderia emitir ou absorver energia, dada sua configuração eletrônica bem como, se a movimentação do elétron é determinante ao quantum de luz. Durante um pequeno intervalo, faremos uma apreciação dos pontos que os alunos fizeram nesta investida. Logo em seguida, o professor precisará fazer algumas ponderações, em especial àquelas que fugirem dos conceitos e abordagens reais ao assunto.

A partir de então será apresentado aos alunos que o conteúdo abordado durante nossa intervenção será a luz (quantum de luz), desde o nascimento da teoria quântica com Marx Planck até a genial descoberta do comportamento corpuscular da matéria por Albert Einstein, comprovado a partir do Efeito Fotoelétrico. E que esses conteúdos serão sempre abordados a partir de situações-problemas, bem como a solução será construída em conjunto, por cada equipe, através de muito diálogo e investigação por parte dos membros e de seus constructos prévios já observados num primeiro momento.

[1º Encontro]

No primeiro encontro da intervenção faz-se necessário a apresentação da ementa da eletiva. Os conteúdos que serão abordados, como serão expostos, trabalhados, e qual a metodologia utilizada. Como se dará através do processo remoto ensino, em virtude da Pandemia da Covid-19, veio também a necessidade de expor como será utilizado a tecnologia nesse processo, com aulas síncronas³, em streaming por uma plataforma social (Google Meet).

A princípio será aplicado um teste de sondagem, que mensurará qual o grau de conhecimento daquele público no quesito luz e suas principais características e fenômenos

³ As **aulas síncronas** são aquelas que acontecem em tempo real. Na educação a distância, isso significa que o professor e o aluno interagem, ao mesmo tempo, em um espaço virtual.

físicos. Para esse dia esperamos discutir logo em seguida, após um pequeno intervalo, os pontos convergentes ou divergentes ao assunto proposto.

[2° Encontro]

Nesse segundo encontro, faremos uso mais uma vez da tecnologia, em especial da plataforma Google Meet (sala de aula virtual) para trabalharmos as ações previstas para tal momento. Tendo como base os dados obtidos no encontro anterior, é que planejaremos trabalhar a luz, enquanto propagação ondulatória. Faremos uso de simuladores virtuais, no intuito de discutir cor, frequência, dispersão da luz e diversas outras propriedades físicas e químicas que endossam a teoria das cores, e anatomicamente, a condição natural da nossa visão, ou seja, o espectro eletromagnético visível.

Esse encontro é muito importante, pois servirá de base para o entendimento do comportamento da luz, em sua natureza Ondulatória, haja vista que reforçará, ou ainda, evocará os conceitos trabalhados em Óptica Geométrica.

[3° Encontro]

No terceiro encontro será hora de abordar os principais fenômenos e/ou propriedades da luz, no que compete a Óptica Geométrica. É preciso recordar, para quem já viu ou apresentar aos novatos no assunto, que fenômenos como Reflexão, Refração, Interferência e Difração podem ser determinantes no entendimento em como a luz se comporta num meio ou em outro.

Em alguns momentos veremos claramente seu comportamento ondulatório, já em outros sua evidência fica explicitamente determinada em sua condição material ou corpuscular. Enfim, a observância dessas variáveis e princípios serão expostos fazendo uso de slides, recorrendo a participação de todos através do ambiente virtual, como tem acontecido e, certamente ocorrerá durante todo o processo da intervenção.

[4° Encontro]

Nesse encontro, esperamos verificar como têm sido a compreensão do que já foi trabalhado, fazendo uso de um teste de sondagem. Pois o objetivo é dar base suficiente ao entendimento do que vem pela frente. O tema *quantum de luz* será nosso foco da pesquisa, sua aplicação no mundo contemporâneo, ou seja, o que esperar de uma certa quantidade energia?

O que uma dada configuração eletrônica de um átomo pode significar? Reflexo de uma movimentação de elétrons? E qual a aplicação disso no mundo atual?

Portanto, de posse das respostas ao teste, seguiremos em discussão, a fim de sistematizar os possíveis resultados e compreensões, no que tange os tópicos da Física Moderna, em especial ao efeito fotoelétrico, e sua imensa contribuição aos dias de hoje. Apresentaremos nossa Metodologia de Ensino (Fedathi), bem como o recurso educacional que teremos a nossa disposição (Portal Interativo de Física Moderna). Estes nortearão nossos próximos 03 encontros.

[5º Encontro]

O processo de aplicação da sequência Fedathi será iniciado com a divisão da turma em grupos de 04 alunos cada. Os estudantes já se encontram esclarecidos de como se dará o projeto de pesquisa, os materiais que poderemos utilizar como texto para leitura, acesso as mídias através do site (Produto Educacional) desenvolvido especial para a intervenção, bem como de simuladores da plataforma PhET Colorado, disponível gratuitamente para livre acesso, fundamentarão nossa pesquisa. Será apresentado, nessa fase da intervenção (Tomada de Posição), algumas situações-problemas, como por exemplo, *Como se dá o acendimento automático dos postes de energia elétrica das cidades? Existe alguma explicação científica por trás dessa automação? Será se ainda o funcionamento automático de portões, alarmes ou controle remoto é explicado pelo mesmo fenômeno?* onde cada equipe deve acolher o proposto pelo professor e nas fases futuras, buscar solucionar.

Em seguida os estudantes serão convidados a formar suas equipes, onde cada grupo terá acesso a um texto de fundamentação, encontrado no Produto Educacional (Portal Interativo de Física Moderna) julgando assim necessário, para embasar as hipóteses levantadas por eles. Ressalta-se também que os alunos não podem interagir com os demais grupos, apenas com os integrantes de sua equipe e claro, poderão questionar ou expor suas dúvidas para o professor.

Esse confinamento dos alunos as ideias e opiniões apenas aos integrantes de seu grupo, irão desencadear estratégias particulares, trajetos próprios aos seus modelos (Maturação). Deve surgir nessa etapa, alguns questionamentos, ao passo que o professor deve apenas estimular a reflexão de situações ou concepções anteriores ao requisitado. O professor nessa realidade deve assumir uma postura de *mão no bolso*, ou seja, permitir que os alunos sejam de fato colaboradores diretos do seu conhecimento, cabendo ao professor apenas intermediar esse processo.

Dado algum tempo, e após cada equipe maturar e refletir sobre seus posicionamentos tomados, é hora de expor suas definições sobre o que foi solicitado e discutidos em grupo no particular para a apreciação do coletivo e mediação do professor, que nesse momento deve olhar cuidadosamente para os caminhos trilhados por cada equipe, pois é nessa fase (Solução) que muitas respostas podem incorrer em trajetórias equivocadas, e o professor deve formular contra exemplos a fim de chegarmos as conclusões esperadas ou quem sabe, retomar questionamentos da fase anterior.

E por fim, as equipes deverão apresentar seus relatos e soluções, a ponto de despertar a turma para uma visão geral dos fenômenos físicos, envolvidos na situação-problema e sua aplicação no cotidiano e é nesse momento (Prova), que o professor deve sistematizar as hipóteses levantadas pelos grupos ou alunos em particular, considerando aquilo que foi satisfatório e remodelando o que necessita diante das conclusões não assertivas. É extremamente importante esse fechamento dos pontos por parte do mediador, para efetivação e entendimento do conteúdo proposto.

[6º Encontro]

No sexto encontro, o que equivale ao segundo da aplicação da Sequência Fedathi, daremos início com a retomada ao fio da meada, das reflexões dos alunos bem como, da temática abordada em nossa intervenção. Os estudantes serão convidados a mais uma vez, retomarem suas formações iniciais enquanto equipe para assumir um novo desafio. *É possível, no caso do acendimento automático dos postes, eles acenderem a qualquer momento ou horário, mesmo em dias chuvosos? Ou seja, sem a emissão da luz oriunda do sol, é possível ainda assim acionar automaticamente as luzes dos postes? E em dias quentes, o fenômeno se evidencia?* Essas questões nortearão as discussões (Tomada de Posição) para abrir os trabalhos do segundo encontro. Conserva-se as mesmas recomendações de interação, apenas ao grupo de estudantes, para o levantamento de suas hipóteses.

É na próxima etapa (Maturação) em que os alunos vão verificar quais variáveis estão correlacionadas com o problema do encontro passado, já que os conteúdos são sequenciados, visando uma fundamentação ainda mais rebuscada para seus modelos. Vale destacar que cada grupo estará nesse momento discutindo entre si, investigando, refletindo ou até mesmo questionando o professor, sendo este o responsável por esclarecer, motivar ou estimular a turma, em trilhar caminhos idôneos para compreender a problematização.

Será solicitado a todos que, depois de um dado tempo, precisarão retornar ao grupo para socializar seus constructos e, diante do observado por todas as equipes, levantar um modelo geral para a situação-problema. Aqui nessa etapa (Solução) é de longe, muito importante a participação de todos, no que tange principalmente o papel do aluno no ato científico do pensar, bem como a partilha dos seus modelos, o fim maior é a convergência dos pensamentos para a construção de um modelo geral, proposto na fase final.

Fica a cargo dos alunos explorar suas respostas, através de leitura e reflexão de textos de fundamentação teórica, encontrados no Produto Educacional (Portal Interativo de Física Moderna), e posteriormente, frente as demais equipes, discutir acerca do fator climatológico, podendo afetar ou não no acendimento automático dos postes da rede pública de energia das cidades. É nesse momento, que o professor, ao ser interpelado, precisa fazer uso de contraexemplos para motivar ainda mais os alunos, a defender sua solução ou verificar possíveis erros.

E por fim (Prova), o professor deve nessa etapa organizar as falas, levar em conta os pontos pertinentes e corrigir os divergentes, na construção do modelo geral de explicação para o problema proposto. O mesmo ainda fará uso de textos de fundamentação teórica que abordem sobre a conceituação da cinética do elétron e seus desdobramentos para formas de emissão de luz (fóton), em especial (excitação, relaxação, incandescência, fluorescência e fosforescência), apresentados através do Produto Educacional (Portal Interativo) para referendar se o fator clima interfere nesse processo, e assim finalizaremos esse encontro.

[7º Encontro]

No nosso último encontro de aplicação da Sequência Fedathi, será requisitado aos estudantes assumirem as mesmas posições que o fizeram nos últimos encontros, a formação das equipes para dar sequência a mais uma problematização. *No caso do acendimento automático dos postes, é possível alterar a intensidade luminosa, ou seja, quando o Sol parar de emitir luz os postes vão poder apresentar mais ou menos brilho? Qual o nome do fenômeno físico que está relacionado ao problema? A frequência da luz emitida, caso fosse possível substituir o sol nesse processo, alteraria a luminosidade?* Partiremos dessa situação-problema (Tomada de Posição) para propor aos alunos mais uma investigação e descoberta das variáveis que podem incorrer no efeito fotoelétrico.

Será destinado um tempo para os grupos refletirem e, a partir de algumas discussões particulares, levantarem seus posicionamentos acerca do fenômeno em si. Aqui nessa etapa

(Maturação) os alunos debruçarão sobre suas ideias e pensamentos, o professor poderá ser até consultado com mais frequência, dada a limitação de conhecimento teórico sobre o tema, cabendo a ele instigar a investigação, a pesquisa e a reflexão para com os fenômenos correlatos e já existentes ao problema proposto.

De posse de seus apontamentos, os alunos serão convidados a expor para o grande grupo, ou seja, para toda a sala, sobre suas conclusões, a ponto de cada equipe poder contribuir e ser contribuído pelo trabalho do colega ou equipe vizinha, na construção de um modelo real e solucionário da problematização. Nesse momento (Solução) é podemos perceber se foi satisfatório a aplicação da sequência de ensino, se houve divergências para com a solução desejada e se necessita o fechamento dos pontos por parte do professor, para efetivação e entendimento do conteúdo proposto.

Para culminar, é preciso nessa etapa (Prova) o professor alinhar os pontos que convergem para a resposta correta do problema, e evoluir, junto aos alunos, com as construções que eles apresentarão e não foram suficientemente coerentes. É nesse intento, que verificamos se a Tomada de Posição foi ressignificada, ou seja, se houve avanços no tocante a busca pela solução daquela situação-problema. Para isso, será necessário fazer uso do simulador PhET da Universidade do Colorado (EUA), plataforma disponível gratuitamente para livre acesso, linkado ao Produto Educacional (Portal Interativo). Será nesse momento, em que o professor abordará as diversas variáveis que podem ou não, validar o efeito fotoelétrico, inclusive a intensidade luminosa.

[8º Encontro]

Enfim chegaremos ao último encontro da intervenção. Nele pensamos num momento coletivo de avaliação. Pontos positivos ou negativos acerca da metodologia aplicada, poderão ser expostos de maneira pública, no grande grupão. O debate e o diálogo devem proporcionar um momento de crescimento e expectativa de avanços alcançados, assim esperamos. Na ocasião iremos permitir a turma fazer colocações no geral, como uso da tecnologia e do ensino remoto para tais encontros. As comodidade ou desafios que o ensino não presencial pode trazer. O convívio familiar e a administração de tarefas escolares.

A seguir consta, de maneira sucinta, nossa tabela-resumo dos nossos encontros e intervenção realizado em sala de aula virtual.

Tabela 4.1: Tabela-resumo dos encontros da intervenção pedagógica

Encontros	Assunto	Ferramentas
01	Teste de sondagem sobre Luz (Explicação sobre a ementa da disciplina eletiva)	Questionário e apresentação oral
02	Cor	Simulador Virtual PhET, Vascak ⁴
03	Reflexão, refração, difração e interferência	Slides
04	Teste de sondagem sobre Física Atômica (teste que antecede a aplicação da Metodologia Fedathi)	Questionário e apresentação oral
05	Emissão de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
06	Os quanta de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
07	Efeito Fotoelétrico	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
08	Avaliação de satisfação da metodologia empregada	Entrevista coletiva

Fonte: Próprio autor

Espera-se que ao final das etapas da intervenção, os alunos possam responder questionários com questões objetivas e subjetivas, para que opinem a respeito da dinâmica do processo de intervenção e das ferramentas de ensino utilizadas para o ensino de Física Moderna, em especial do efeito fotoelétrico.

4.1 Produto Educacional

Em conjunto com o presente trabalho de pesquisa, foi desenvolvido um produto educacional muito atrativo ao público jovem, bem como, altamente oportuno para o momento de sua aplicação. O Portal Interativo de Física Moderna (Disponível em: < <https://quantumdeluz.com.br/>>) veio somar a intervenção, no intuito de validação da metodologia Fedathi então utilizada.

A princípio havíamos pensado na hipótese de construção do experimento físico em si, listando desde os materiais adquiridos e do processo de construção, obedecendo as diversas variáveis que incorrem no seu sucesso ou fracasso. Com o isolamento social, proporcionado

⁴ É um site de experimentos, administrado pelo Física na Escola, em linguagem de programação HTML5 (Física Animações/Simulações), disponível em <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>

pelo fechamento das escolas, comércio e indústria, foi ficando inviável sua construção e em seguida, partimos para a verificação do fenômeno estudado, agora fazendo uso de simuladores interativos virtuais da plataforma PhET da Universidade do Colorado (EUA), incorporando ao Portal Interativo de Física Moderna (site), a fim de aproximar os agentes ativos do processo de ensino da Física Moderna - os alunos.

Por fim, espera-se agregar todos esses valores na interação desse site de pesquisa e simulação, a ponto de socializar a um maior número possível de estudantes no Pernambuco e quiçá no Brasil. Nele constará textos de fundamentação teórica – numa página denominada História, Curiosidades, breve Biografia dos principais nomes e contribuintes da Física Moderna, links de acesso e reporte a simuladores (PhET), desafios, sugestão de leituras e sites para pesquisa e aprofundamento. O portal será um verdadeiro arcabouço para o ensino da Física Moderna, em especial para estudantes e professores que tem pouco ou nunca tiveram acesso a esse conteúdo.

Será utilizada a sequência de ensino Fedathi para aplicação dessas ferramentas em sala de aula, sendo todo o processo de intervenção planejado a partir do estudo de teorias de aprendizagem e da investigação de novas metodologias de ensino. Então todo esse processo resultará na aplicação da metodologia de ensino fedathiana para aplicação de ferramentas alternativas e auxiliaadoras no ensino de Física Moderna.

CAPÍTULO 05 – INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesse capítulo, discorreremos sobre a descrição dos eventos, comportamentos e aplicações observadas e registradas ao longo da intervenção pedagógica, bem como a análise dos resultados do processo de ensino-aprendizagem à luz da Metodologia Fedathi. As atividades desenvolvidas ocorreram obedecendo a distribuição das aulas semanais da disciplina eletiva de Física Quântica, formada a partir dos alunos que optaram em cursar, preenchendo seu itinerário formativo. A programação dos encontros para a intervenção pedagógica é descrita na Tabela 5.1, e a Metodologia Fedathi, aplicada em três desses encontros. Durante a descrição dos eventos da intervenção, serão apresentadas nossas observações, tomando por base a metodologia fedathiana como fundamentação teórica proposta nesta dissertação. Faremos também ao longo da descrição da intervenção pedagógica, considerações acerca do uso da sequência Fedathi e da aplicabilidade do Produto Educacional desenvolvido e utilizado na intervenção.

Tabela 5.1. A intervenção Pedagógica.

Encontros	Assunto	Ferramentas
01	Teste de sondagem sobre Luz (Explicação sobre a ementa da disciplina eletiva)	Questionário e apresentação oral
02	Cor	Simulador Virtual PhET, Vascak
03	Reflexão, refração, difração e interferência	Slides
04	Teste de sondagem sobre Física Atômica (teste que antecede a aplicação da Metodologia Fedathi)	Questionário e apresentação oral
05	Emissão de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
06	Os quanta de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
07	Efeito Fotoelétrico	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
08	Avaliação de satisfação da metodologia empregada	Entrevista coletiva

Fonte: Próprio autor

A seguir descreveremos o relato de cada encontro da intervenção pedagógica

Primeiro Encontro

No primeiro encontro da eletiva Física Quântica e, conseqüentemente, da intervenção pedagógica, veio a necessidade da apresentação da ementa desta disciplina. A partir de então foi exposto aos alunos quais caminhos seguiríamos, o que esperamos alcançar com os objetivos traçados, e principalmente pelo fato da aplicação da Metodologia Fedathi que esperamos mensurar qualitativamente avanços no processo de ensino-aprendizagem.

Vivendo a realidade do ensino remoto nas escolas, em virtude da pandemia do coronavírus (COVID-19), veio a necessidade de realizar nossa intervenção longe da sala de aula e usando a tecnologia computacional para a vivência desses momentos. Enfrentamos os obstáculos que foram necessários, e possíveis de serem resolvidos, para tal realização. Utilizamos o ambiente virtual (Google Meet) para fazer nossos encontros da intervenção pedagógica, a princípio num âmbito coletivo e, no decorrer dos encontros, em salas virtuais privadas, destinadas ao grupo específico de alunos. Portanto, durante as aulas, utilizávamos diversos materiais (textos, simuladores virtuais e questionários) ora disponibilizados pelo professor na tela de compartilhamento, ora publicado no site (produto educacional).

A primeira ação da intervenção pedagógica foi a aplicação de um teste de sondagem (ver Apêndice A), que consistiu em verificar o grau de conhecimento sobre a luz, seus principais fenômenos como reflexão, refração, difração, interferência, seja pelo aspecto óptico, seja pelo aspecto ondulatório. Em seguida demos um pequeno intervalo, quando analisamos as respostas dos estudantes neste teste de sondagem. Voltando a turma, fizemos algumas ponderações, em especial para aquelas respostas que fugirem dos conceitos e abordagens reais ao assunto.

Nesta sondagem foi possível perceber o quanto alguns alunos (as) estão distantes da compreensão do conteúdo abordado, como também, o despertar dos estudantes para buscar o novo. Sobre o ponto: “interação luz e matéria”, vimos que poucos alunos entendiam que a frequência e, portanto, a cor, estão associados a diferença de energia envolvida entre os estados dos elétrons nas transições entre os níveis de energia dos elétrons nas camadas de valência. Ao passo que os fenômenos de reflexão e refração eram mais próximos de suas realidades, isso por terem estudados em Óptica Geométrica e reforçados em Ondulatória.

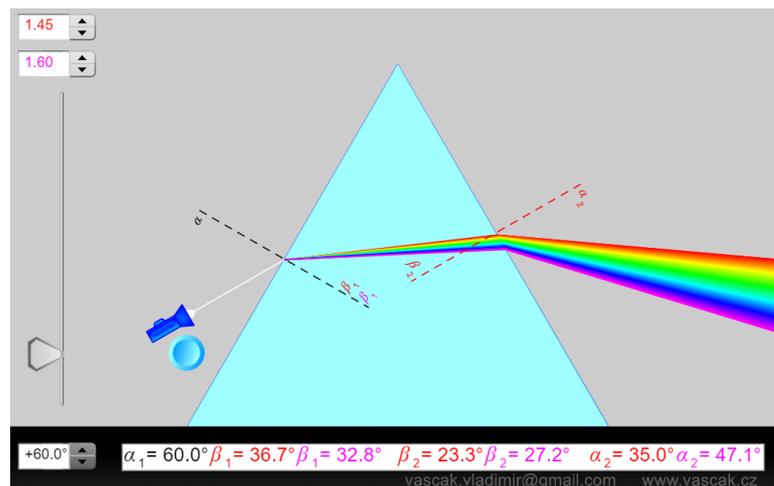
A seguir descreveremos os demais encontros da intervenção pedagógica.

Segundo Encontro

Nesse encontro, recorreremos mais uma vez ao ambiente virtual (Google Meet), para formar nossa sala aula e então propor as ações coletivas ao grupo que esperávamos receber no dia. O objetivo do encontro era explorar o uso dos simuladores virtuais PhET e Vascak para estudar cor e frequência, ou seja, o quanto estaríamos ou não, familiarizados com a luz e a sua radiação eletromagnética visível. Esse espectro abrange uma gama de frequências que se estende por algo como 15 ordens de grandeza. Dentre outras regiões conhecidas, estão as ondas de rádio e TV, as micro-ondas, os raios X e os raios gama, estas as mais energéticas e penetrantes da radiação espectral.

Abordamos a princípio, a famosa experiência realizada por Isaac Newton, conseguindo decompor a luz branca através de um prisma, demonstrando assim, que esta é formada por uma mistura de cores, apresentada na Figura 5.1 a seguir. Sabemos que qualquer pessoa consegue identificar seis cores no arco-íris, mas Isaac Newton incluiu uma sétima cor no arco-íris, o índigo (Anil), para que houvesse 07 cores, da mesma forma como há 07 dias da semana, 07 notas musicais, 07 planetas conhecidos na época etc.

Figura 5.1: Decomposição da Luz



Fonte: Disponível em https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_hranol&l=en
Acesso em: 17 de ago. 2021.

Além disso, também trabalhamos o fato dessas cores se comportarem de maneira aditiva ou subtrativa. É o que veremos nas Figuras 5.2 e 5.3 a seguir. Maxwell, demonstrou no século XIX, que a reprodução de muitas cores é possível, através das combinações aditivas de três cores primárias, expresso da seguinte maneira:

- **Verde e vermelho** produzem a sensação de **amarelo**.
- **Azul e Verde** produzem a sensação de **ciano** (verde-água);
- **Vermelho e Azul** produzem a sensação de **magenta** (lilás ou fúcsia);

Por outro lado, os objetos visíveis não ‘têm’ cor, propriamente dita; eles têm propriedades químicas e físicas que fazem com que absorvam certos comprimentos de onda e reflitam outros comprimentos de onda, os quais chegam a nossos olhos e estimulam os cones, como explicaremos a seguir.

Figura 5.2.: Síntese Subtrativa

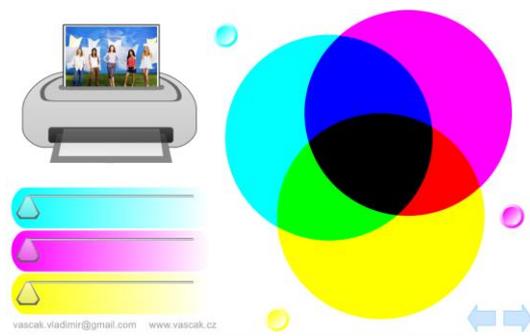
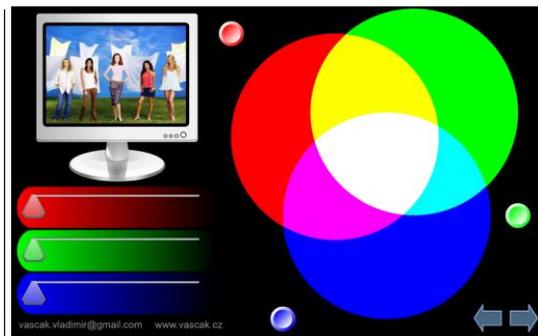


Figura 5.3.: Síntese Aditiva



Fonte: https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_michanibarev&l=en

Acesso em: 17 de ago. 2021.

Em 1850, influenciado pela obra Zur Farbenlehre (Da Teoria das Cores), Helmholtz desenvolveu a teoria de Young, segundo a qual, nossos olhos têm células, chamadas de cones, sensíveis às cores, de três tipos, correspondendo a três faixas de cores:

- **R**, sensíveis aos vermelhos e aos laranjas;
- **G**, sensíveis aos amarelos e aos verdes;
- **B**, sensíveis aos azuis e aos violetas.

Com isso, um estímulo luminoso que excite simultaneamente os cones R e G é interpretado como ‘luz amarela’, enquanto um que excite os G e B, como ‘luz ciano’. Nas Figuras 5.4 e 5.5 a seguir, apresentamos como se dá esse reconhecimento da cor por nossos olhos (células cones). Resumidamente discutimos e observamos que qualquer objeto iluminado pela cor branca (aditiva) absorve as demais cores e reflete a sua verdadeira cor, do contrário o vemos na cor preto, ou seja, caso usemos um filtro que difere da cor lançada o reconhecemos preto ou, quando este é da mesma cor que o objeto.

Figura 5.4: Luz policromática

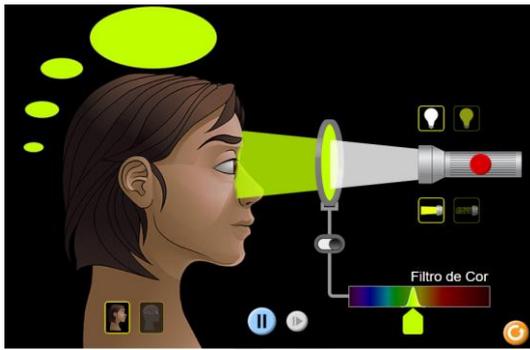
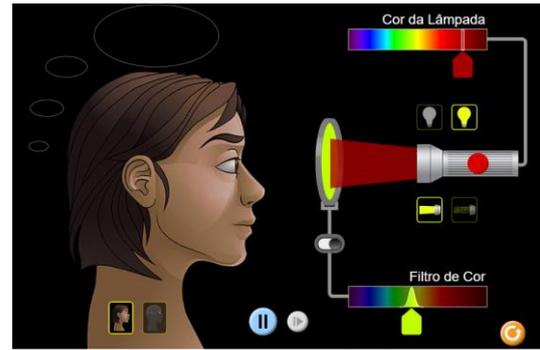


Figura 5.5: Luz monocromática

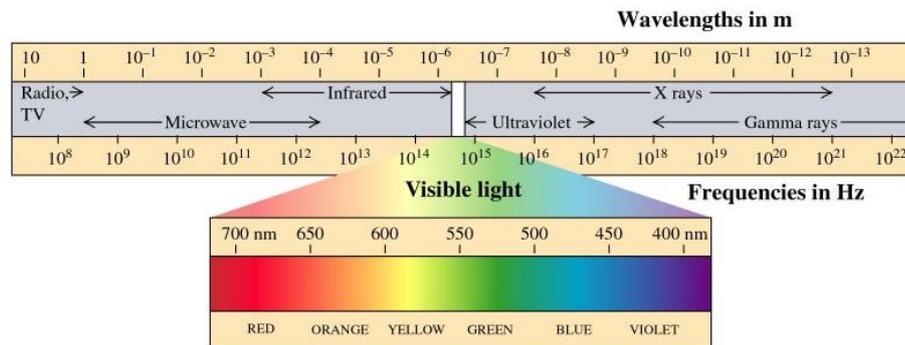


Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/html/color-vision/latest/color-vision_pt_BR.html

Acesso em: 17 de ago. 2021.

Percebemos nas imagens acima que a luz branca (policromática) é, praticamente, absorvida pelo filtro amarelo e reflete apenas esta cor. Enquanto na imagem ao lado, ao lançarmos a luz vermelha (monocromática) sobre o mesmo filtro, o agente não reconhece cor alguma, configurando assim a ausência de cor, o preto (subtrativa). Essa é uma condição natural da nossa visão, aquilo que não conseguimos enxergar não significa que não exista, simplesmente não está acessível no espectro visível, dessa forma o que resta está fora do alcance das nossas células cones, configurando o preto. Vejamos na Figura 5.6 a seguir, a estreita faixa visível do espectro eletromagnético.

Figura 5.6: Espectro eletromagnético



Fonte: Disponível em: <<http://www.fisica-interessante.com/fisica-ondas-cores.html>>.

Acesso em: 17 de ago. 2021.

O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. Notamos que a luz visível, os raios gamas e as micro-ondas são todas manifestações do mesmo fenômeno de radiação eletromagnética, apenas possuem diferentes comprimentos de onda. Por outro lado, vale lembrar, que, segundo a teoria das cores, cor não é o mesmo que frequência vibratória da luz.

Embora no espectro acima se possa associar a cada cor uma frequência, do vermelho ao violeta, há várias cores, ditas não espectrais, por não pertencerem ao espectro do arco-íris.

Terceiro Encontro

Chegamos ao terceiro encontro, ainda maravilhado com que o exploramos na aula anterior, com o uso dos simuladores virtuais na percepção de cor, frequência e comprimento de onda fez mais sentido. Ambientados virtualmente, através do Google Meet, nesse encontro fizemos uso de aula expositiva (slides) para reforçar conceitos sobre os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência da luz, retomando conceitos que foram abordados desde a Óptica Geométrica quanto na Ondulatória. Essas ações foram fundamentais para nivelar os conhecimentos, até então, apresentados por nossos alunos nesse início de intervenção.

Recordamos características importantes da propagação da luz, como um dos princípios fundamentais do Óptica Geométrica, bem como o comportamento das variáveis diante dos fenômenos supracitados. Como um raio de luz incide numa superfície, sobre determinadas características e o que o leva a refletir ou refratar, conservando ou alterando algumas dessas grandezas como velocidade, frequência ou comprimento de onda.

No que compete a difração e interferência da luz, foi explorado a importância das fendas, bem como suas dimensões, para a evidência do fenômeno, sejam elas com fenda simples ou duplas, estabelecendo assim um padrão de interferência que pode ser manifestado divergentemente, dado a natureza corpuscular ou ondulatório da luz. Enfim, o encontro foi nivelador e memorativo, serviu para fazer os alunos recordarem o assunto já explorado em séries anteriores, isso para quem já havia estudado. Aos que virão pela primeira vez, teve uma noção mínima, para então seguir as próximas etapas.

Quarto Encontro

Já pensando nos próximos encontros da intervenção pedagógica, quando entraremos no conteúdo foco de nosso trabalho, inclusive com a aplicação da metodologia Fedathi, aplicamos um novo teste de sondagem (Apêndice B) para sabermos a familiaridade dos estudantes com o conteúdo: “comportamento da luz”, seja no âmbito corpuscular, seja no âmbito ondulatório. Como se dá a emissão de luz, ou ainda, a absorção de energia quando um elétron é excitado? Se já ouviram falar sobre fótons, pacotes de energia, e qual sua estreita relação com os fenômenos que integram a Física Moderna? Em quais condições a matéria (átomo) poderia

emitir ou absorver energia, dada sua configuração eletrônica bem como, se a movimentação do elétron é determinante ao *quantum* de luz?

Durante um pequeno intervalo, fizemos uma apreciação das respostas apresentadas pelos estudantes. Logo em seguida, o professor precisou fazer algumas ponderações, em especial àquelas que fugirem dos conceitos e abordagens reais ao assunto.

Nesta sondagem foi possível perceber o quanto alguns alunos (as) precisam avançar na compreensão do comportamento dual da luz. Vimos que a maioria não sabia relacionar os efeitos de absorção e emissão de luz, que estão relacionados a transição entre os níveis de energia dos elétrons de valência. No tocante a radiação, até um número considerável de alunos, recordou o fato de que fogos de artifícios emitem sua coloração característica, fruto de uma absorção de energia e de um possível salto energético. Ou seja, esses saltos provocam uma fosforescência.

A natureza da luz é um assunto que tem estado presente nas discussões de cientistas e filósofos há séculos, principalmente a partir da possibilidade de aplicação de fenômenos luminosos por comportamentos tanto ondulatórios quanto corpusculares, e aqui não foi novidade. Segundo o princípio da complementaridade, proposto por Niels Bohr em 1928, a descrição ondulatória da luz é complementar à descrição corpuscular, mas não se usa as duas descrições simultaneamente para descrever um determinado fenômeno luminoso. Desse modo, fenômenos luminosos envolvendo a propagação, a emissão e a absorção da luz são explicadas ora considerando a natureza ondulatória, ora considerando a natureza corpuscular. Fenômenos luminosos que possam ser explicados no âmbito da natureza corpuscular da matéria, no caso da absorção da luz com emissão de elétrons por uma placa metálica, o que ocorre exatamente no efeito fotoelétrico, foi observado pelo teste, mas que registrou poucas evidências de conhecimento por parte dos alunos.

Enfim, de fato, esse segundo teste de sondagem serviu de direcionamento para as próximas ações, no que tange a aplicação da Metodologia Fedathi e a aplicação de nosso Produto Educacional, para o estudo de tópicos de Física Moderna.

A partir de então foi apresentado aos alunos que o conteúdo abordado nos próximos encontros seriam: a luz (quantum de luz), desde o nascimento da teoria quântica com Marx Planck até a genial descoberta do comportamento corpuscular da matéria por Albert Einstein. Enveredando pela aplicação experimental do efeito fotoelétrico, disponibilizado para simulação virtual no Produto Educacional (Portal), bem como os textos para embasamento teórico às suas situações-problemas.

Quinto Encontro (1º Dia de aplicação da Metodologia Fedathi)

Nesse encontro, a exemplo do encontro anterior, utilizamos mais uma vez o ambiente virtual (Google Meet), a princípio num âmbito coletivo e, no decorrer das etapas, em salas de aulas privadas, destinadas ao grupo específico de alunos. Propusemos que eles formassem grupos para atividades futuras e, por conseguinte, procurassem migrar da sala de aula principal (link geral da reunião) para os links de sala de aulas temáticas⁵, uma oportunidade oferecida por algumas plataformas de *streaming*, haja vista que estaríamos impossibilitados de realizar nossos encontros presencialmente.

Iniciamos com todos os alunos, a aplicação da Sequência Fedathi, dando-lhes as seguintes instruções: Formar as equipes para ler e refletir sobre o texto: *As luzes da cidade* (Disponível no Produto Educacional, apresentado no Anexo 01, no intuito de embasar suas respostas para as situações-problemas (**Tomada de Posição**) propostas a seguir.

Sendo elas:

- a) *Como se dá o acendimento automático dos postes de energia elétrica das cidades?*
- b) *Existe alguma explicação científica por trás dessa automação?*
- c) *O funcionamento automático de portões, alarmes ou controle remoto é explicado pelo mesmo fenômeno, dos itens anteriores?*

O texto considerado, apresenta dados sobre automatização de sistemas públicos de iluminação de grandes centros urbanos, a exemplo de São Paulo (SP), bem como o funcionamento básico desse processo em cadeia. De posse das informações, os alunos então assumem seus postos em suas equipes e passam a migrar da sala de reunião geral para as temáticas, iniciando suas leituras. Percebem que estão privados aos comentários pessoais com todos os estudantes da turma, mas estão livres para questionar, levantar hipóteses, e dialogar com companheiros da sala temática e o professor. É daí que seus constructos⁶, ou seja, suas definições acerca do observado, vão dando espaços aos conhecimentos científicos ali envolvidos. Percebe-se que aos poucos vão conseguindo canalizar seu raciocínio na

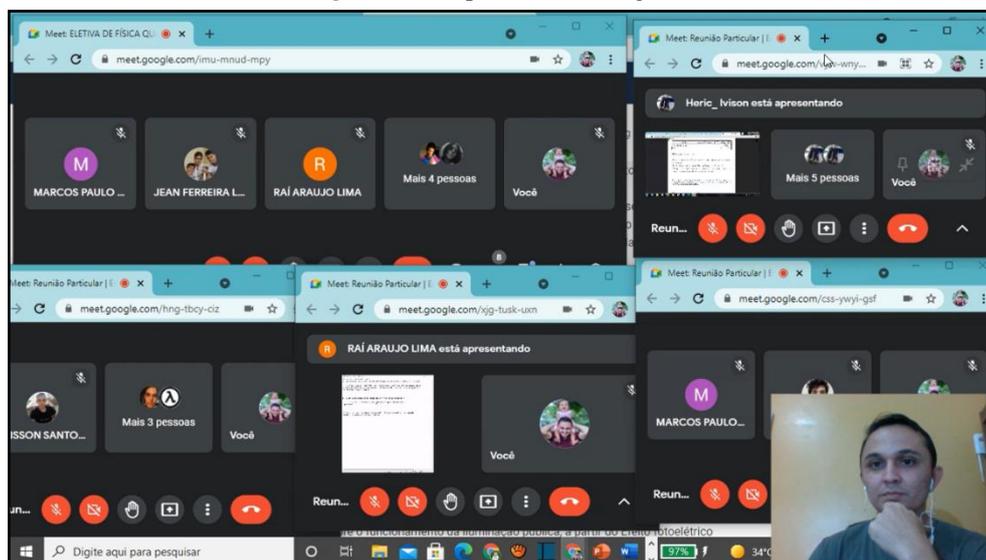
⁵ Sala de aulas temáticas, são ambientes criados, planejados para videoconferências que necessitam subdividir seu grupo em subgrupos, gerando novas salas e possibilitando discussões particulares.

⁶ Modelo criado mentalmente que, elaborado com base em dados simples e partindo de ações analisáveis. É um modo de compreender a realidade que deriva das observações e percepções individuais, resultante das experiências (passadas ou presentes) de alguém.

determinação do seu modelo (**Maturação**). Eis uma etapa, que se mostrou promissora e foi perceptível o quanto eles avançaram, em leitura, entendimento e, em especial, na construção investigativa e colaborativa.

Na Figura 5.7, podemos evidenciar parte desse momento. Eles, portanto, visitaram o Portal Interativo, disponível em <https://quantumdeluz.com.br/as-luzes-da-cidade/> para fazerem suas leituras e, em seguida, suas reflexões.

Figura 5.7: Espectro eletromagnético



Fonte: Próprio autor

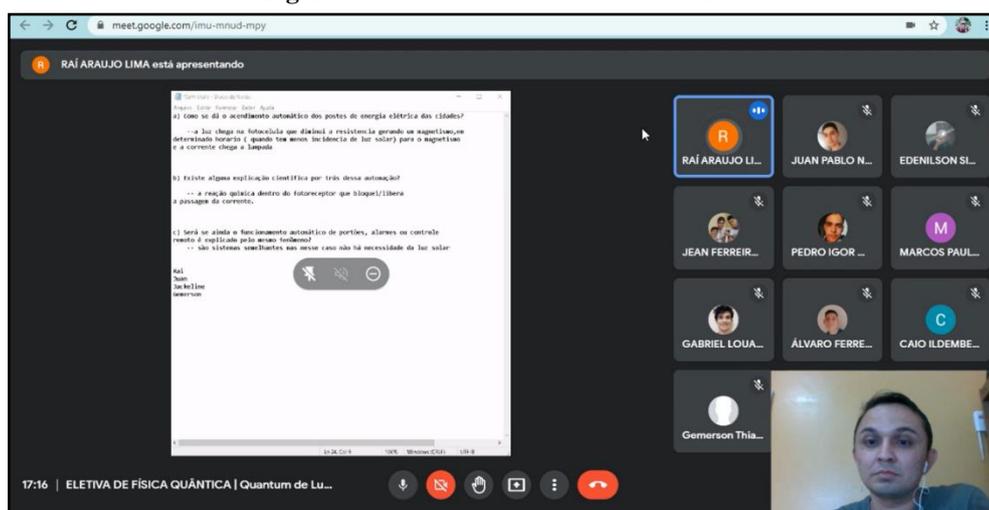
Considerando a postura “mão no bolso” previsto na metodologia fedathiana, agimos durante esse encontro, de forma atenta, cuidadosa para não intervir no processo, mas em caso afirmativo, propor a identificação de caminhos para solucionar o problema. O nosso papel foi realmente de mediar as discussões. Propusemos refletir sobre alguns pontos que norteavam a estrutura do encontro, no entanto ainda de forma tímida, fomos pouco acionados, surgiram perguntas, mas voltadas apenas para o quê realizar em cada sala temática.

O aluno M.P., em sintonia com o pensamento do aluno R.A., questionou se é importante fazer seus registros para posterior socialização. Afirmamos que sim, o que contribuirá muito para a discussão futura. No entanto, não podemos deixar de destacar o quão é desafiador a aplicação de uma intervenção pedagógica num ambiente remoto. Embora a internet seja uma realidade, observamos que nem todos os estudantes têm acesso ou comunica-se através dela, no entanto continuamos, mesmo diante de alguns alunos (as) faltosos. O motivo das faltas vai desde a não terem acesso à internet pelo fato de morarem na zona rural, ou mesmo por não possuírem condições financeiras, ou ainda por motivo de saúde.

Cerca de vinte cinco (25) minutos depois, são fechadas as salas temáticas e os alunos são convidados a retornar ao grande grupo (sala geral). É nesse momento que as equipes e estudantes individualmente, passaram a interagir com os outros grupos, podendo dessa forma, chegar a conclusões em conjunto (**Solução**).

As respostas do aluno R.A., estão apresentados na Figura 5.8 e sob o olhar da Metodologia Fedathi notamos, através da fala do aluno, o quanto é importante o papel da investigação, bem como da colaboração, na busca de suas soluções. Aqui não só o aluno avança em suas pesquisas, mas convida os demais colegas de grupo, e conseqüentemente de sala, a refletirem quanto ao funcionamento desses dispositivos.

Figura 5.8: Parecer conclusivo do aluno R.A.



Fonte: Próprio autor

Já o aluno J.P. integrante da mesma equipe expôs que:

“... pensava que existia um painel controlador de corrente e quando chegava a hora, simplesmente era acionado”.

Diante dessa fala percebemos o quanto se faz necessário propor a pesquisa, incentivar a investigação. Como bem propõe a Metodologia Fedathi, são as perguntas a principal finalidade do conhecimento, pois traz consigo as respostas necessárias aos nossos questionamentos. Sejam elas esclarecedoras, estimuladoras ou ainda orientadoras. Dessa forma, na tentativa de estimular a reflexão, propomos recordar sobre a influência do magnetismo na eletrodinâmica, como por exemplo no uso de alto-falantes, fone de ouvido etc.

O aluno R.A. ainda questiona:

“... pensei que fosse mais fácil o processo”

Mas percebe, com a ajuda da discussão em equipe, que há muito mais de eletromagnetismo envolvido. Notam que o funcionamento se dá com base na ejeção de elétrons livres de um dispositivo LDR (*Light Dependent Resistor*⁷) que é exposto a luz solar (fonte de luz), provocando uma alteração na resistência elétrica. Ou seja, eles concluíram que quanto maior a incidência de luz menor a resistência. Dessa forma o aluno G.L. conclui:

“... durante o dia quando se tem a resistência menor a luz do poste cessa, do contrário ela acende, no caso a noite”.

Essa foi uma interpretação interessante, mostra o quanto os alunos em questão já dominam a física clássica (eletromagnetismo), o que é básico para o entendimento do efeito fotoelétrico.

Esse foi um momento bastante produtivo, e o texto-base serviu de apoio para o fomento e estímulo as suas conclusões. Por se tratar de um encontro síncrono e salas temáticas, às vezes pode parecer confuso o entendimento, porém é perceptível o quanto eles se questionavam e interagiam, uns com os outros, pouquíssimos foram os questionamentos direcionados ao professor. Ainda assim era possível ouvir conclusões, como por exemplo do aluno P.I:

“...quando o sol bate na fotocélula ela atinge o fotossensor, que é sensível a luz do sol, e assim aciona o mecanismo para pagar todas as lâmpadas”.

Enquanto o aluno J.F. integrante do mesmo grupo completa:

“... quando o sol se põe, cessa a luz, e assim ela aciona”.

E por fim a equipe em questão, chega a um denominador comum:

“... quando a luz solar incide na fotocélula, ela atinge o fotossensor que é sensível a luz do sol, e daí ele aciona o mecanismo para apagar ou acender todas as lâmpadas”.

⁷ Resistor Dependente de Luz ou fotorresistência.

É relevante apontar que as atitudes dos alunos dependem muito da maneira como o professor conduz seu trabalho. Dessa forma, Sousa (2015) reitera a ideia de que na vivência da Sequência Fedathi, o acordo didático se estabelece de uma conversa, do diálogo do professor com os estudantes, de modo a combinar com eles as normas que irão nortear as ações a realizar e o conhecimento a se constituir ou fundamentar.

Finalmente concluímos a aplicação da sequência Fedathi com a **Prova**, que consistiu na apresentação mais abrangente do modelo geral do acendimento automático dos postes nas luzes das cidades. Concluímos que é o mesmo fenômeno que aciona os portões e portas de ambientes públicos, ou em qualquer outra situação que necessite do entendimento abordado para determinar os conceitos produzidos. Este fenômeno é o Efeito fotoelétrico, o que será evidenciado pelos estudantes, nos próximos encontros.

Notamos que as definições dos alunos eram bem próximas do ideal, inclusive uma delas já apontando o efeito fotoelétrico com o fenômeno responsável por tal explicação, que de fato, configurou progresso de aprendizagem e participação. No entanto, percebemos que este primeiro encontro serviu de “termômetro” (parâmetro) para os próximos, bem como para validação da metodologia abordada no ensino desse assunto. Notamos avançamos, no tocante a fluidez de discussões em grupo, investigação, pesquisa e colaboração, como também limitações, por se tratar de uma aplicação que fez uso da internet, onde nem todos dispunham de tal recurso.

Sexto Encontro (2º Dia de aplicação da Metodologia Fedathi)

Em mais um encontro aplicando a Sequência Fedathi, também de cinquenta (50) minutos de aula, demos início com a retomada das reflexões dos alunos referente ao encontro anterior, principalmente por termos somente uma aula por semana, nesta disciplina eletiva.

Os estudantes foram convidados a mais uma vez, retomarem suas formações iniciais enquanto equipe para assumir um novo desafio. Tínhamos novas situações-problemas, em sintonia com nossa pesquisa, onde avaliaríamos os avanços do processo ensino-aprendizagem por meio da Metodologia Fedathi.

Os alunos receberam as instruções ainda no ambiente coletivo, ou seja, no link geral do encontro (via *streaming*) e logo mais migraram para um link alternativo, gerado para o uso das salas temáticas, a exemplo do encontro anterior. Dessa forma viabilizamos a comunicação interna dos integrantes da equipe, com a supervisão do professor, sem a influência dos demais

alunos ou grupos. Constituía as instruções, a leitura do texto-base, disponível no Anexo 02 (Como são ligadas as luzes públicas), a fim de auxiliar em suas conclusões.

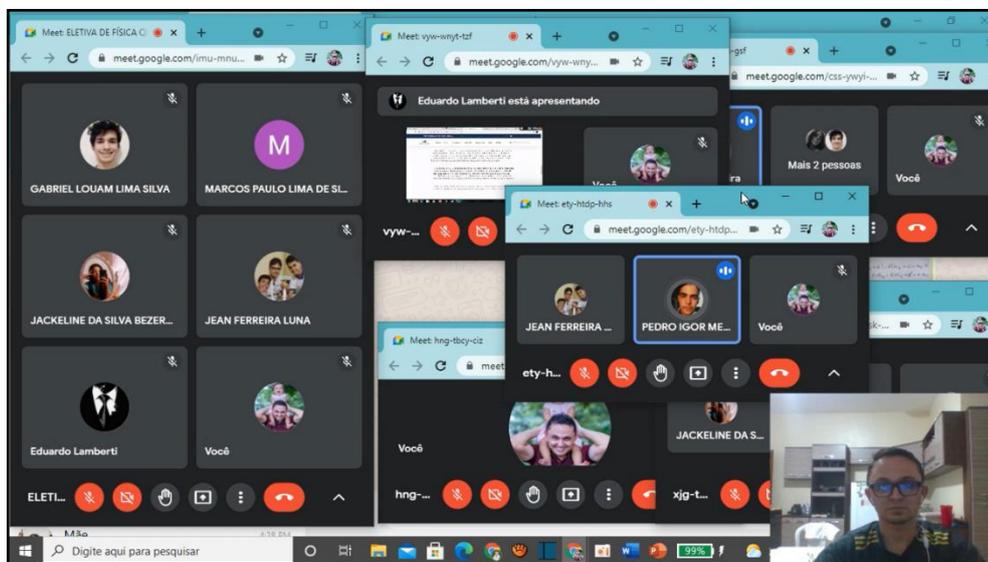
Seguem as situações problemas:

- a) *É possível, no caso do acendimento automático dos postes, eles acenderem a qualquer momento ou horário, mesmo em dias chuvosos?*
- b) *Ou seja, sem a emissão da luz oriunda do sol, é possível ainda assim acionar automaticamente as luzes dos postes?*
- c) *E em dias quentes, o fenômeno se evidencia?*

Esses problemas apresentados (**Tomada de Posição**), nortearam as discussões para abrir os trabalhos do segundo encontro. Conservou-se as mesmas recomendações de interação apenas ao grupo temático, para o levantamento de suas hipóteses. Quanto ao texto-base, ele consegue reunir um breve histórico da iluminação pública das últimas quinze décadas, bem como apresenta a evolução do sistema de lâmpadas e compostos físico-químicos que vão dar estruturas para a iluminação das futuras gerações.

Eles, novamente visitaram o Portal Interativo, disponível em <https://quantumdeluz.com.br/como-sao-ligadas-as-luzes-publicas/> para fazerem suas leituras e, por conseguinte, suas reflexões. Vejamos na Figura 5.9 a seguir, uma evidência desse momento.

Figura 5.9: Alunos em salas temáticas, acessando o Portal e debruçados sobre as situações-problemas



Fonte: Próprio autor

Esse segundo encontro revelou ainda mais desdobramentos da nossa pesquisa, as equipes, na tentativa de buscar compreender as situações-problemas, se aventuram em suas colocações, algumas por sinal até bem curiosas. Como por exemplo, o aluno M.P retoma:

“... tecnicamente, os LDR’s, só precisam da emissão de luz visível, não só o sol é provedor disso, no entanto, basta utilizarmos uma lâmpada (mesma faixa de luz que o sol emite), mesmo não sendo viável utilizar uma lâmpada pra acender outras, mas que é possível sim, é o que eu acredito”.

Aqui já vemos o quão interessante vai ficando a discussão em grupo, levantamentos como esse mostram que o protagonismo, no que tange a construção do conhecimento, pode estar do outro lado. Ou seja, o professor fedathiano apenas mediou o processo, enquanto os alunos buscaram na pesquisa, na leitura os seus achados, suas conclusões. A seguir novos desdobramentos vão surgindo dando ênfase o que refletimos.

No mesmo ensejo, o integrante G.L. da mesma equipe completa:

“... na verdade é questionado, primeiramente, se na ausência de luz (dias chuvosos, por exemplo) as luzes acendem ou não, se o dispositivo é acionado mais cedo ou mais tarde, eu acho que sim, a luz consegue chegar em dias nublados, mesmo que pareça não ser suficiente”.

Para a evidência do fenômeno sabe-se que é necessário um limite mínimo de energia para tal êxito, e logo acima o aluno apresenta esse entendimento. O que vai tornando claro a participação amistosa do professor, assumindo sua postura “mão no bolso”, porém atento a eventuais deslizes.

É nesse momento (**Maturação**), em que os alunos vão verificar quais variáveis estão correlacionadas com o problema do encontro passado, já que os conteúdos são sequenciados, visando uma fundamentação ainda mais rebuscada para seus modelos. Vale destacar que algumas comparações feitas mostram o quanto nossos alunos já conseguem contextualizar ao mundo real, é o caso do comentário da aluna M.A

“... minha gente isso deve funcionar, senão as placas de energia solar não funcionariam nesses dias”.

No entanto, essa compreensão não é unânime, pois outros grupos discutiram a possibilidade do não acendimento automático dos postes, pois a pouca incidência da luz do sol devido ao dia nublado, chuvoso, não daria energia suficiente para liberar corrente. Isso mostra que é preciso uma releitura do texto, acessível através do Produto Educacional (Portal) e apresentado no Anexo 02, já mencionado. Bem como o questionar do professor, propondo-lhes uma reflexão acerca de fenômenos ou dispositivos que funcionem, em situações semelhantes ao que havia sido proposto na situação-problema acima.

Foi solicitado a todos que, depois de um dado tempo, precisariam retornar ao grupo geral para socializar seus constructos e, diante do observado por todas as equipes, levantar um modelo geral para a situação-problema. Aqui nessa etapa (**Solução**) é, de longe, muito importante a participação de todos, no que tange principalmente o papel do aluno no ato científico do pensar, bem como a partilha dos seus modelos, o fim maior é a convergência dos pensamentos para a construção de um modelo geral, proposto na fase final. Cabe ao professor mediar o debate com a socialização das respostas encontradas, gerenciando os erros com os contraexemplos, o que é típico da Metodologia Fedathi, no intuito de que o próprio aluno perceba a necessidade de refazer o raciocínio que percorreu e encontre a resposta mais adequada.

Ficou a cargo dos alunos explorar suas respostas, através de leitura e reflexão de textos de fundamentação teórica, encontrados no Produto Educacional (Portal), e posteriormente, frente as demais equipes, discutir acerca do fator climatológico, podendo afetar ou não no acendimento automático dos postes da rede pública de energia das cidades. É nesse momento, que o professor, ao ser interpelado, precisa fazer uso de contraexemplos para motivar ainda mais os alunos, a defender sua solução ou verificar possíveis erros.

Surge um ponto convergente e aqui trazido a todos:

“...Quando tá no inverno, que tem menos sol, as luzes acendem mais cedo e no verão mais tarde.”

Isso implica concluir que a incidência de sol, para dias de verão, retarda o processo de acendimento automático dos postes da energia pública em até uma hora e meia por dia, mas que em dias chuvosos o processo ainda assim ocorre, embora mais cedo. Foi um parecer conclusivo da turma. Outro tópico que reuniu adeptos, porém não foi maioria, foi o fato de que, o acendimento não se dá em qualquer horário, dessa forma no inverno, sempre teríamos luzes acessas, praticamente, o dia inteiro. Porém isso não acontece.

Nesse intento, surgiu um comentário interessante, o aluno J.P questionou:

“... Professor, na tentativa de responder o item B, ou seja, na ausência de luz solar ainda é possível acionar automaticamente as luzes dos postes, o que aconteceria se lançarmos um raio laser sobre os fotossensores? Por exemplo, a poluição luminosa influenciaria?”

À luz da Metodologia Fedathi, esse foi um bom momento, não para dar as respostas, mas para usar contraexemplos, princípio básico que norteia a proposta metodológica. Sugerimos que observassem se outros dispositivos funcionariam quando submetidos a faixa de luz diferentes, a exemplo da abertura de portões, alarmes, o funcionamento de células fotovoltaicas presentes nas calculadoras, residências etc.

Imediatamente o aluno M.P. retrucou,

“... seria necessário um material (LDR) diferente sensível a essa faixa de luz irradiada, do contrário não funcionaria, eu acho”.

Além da proposta do aluno M.P., sugerimos refletir sobre sua eficiência, até quando seria interessante usar algo extra, uma lâmpada por exemplo, para acionar um dispositivo, que por sua vez dependia apenas de efeitos naturais (luz solar). O nível das discussões vai se elevando a cada comentário, mesmo sem conhecimento de causa ou efeito, os estudantes já esmiuçam as variáveis que podem interferir na comprovação do fenômeno fotoelétrico.

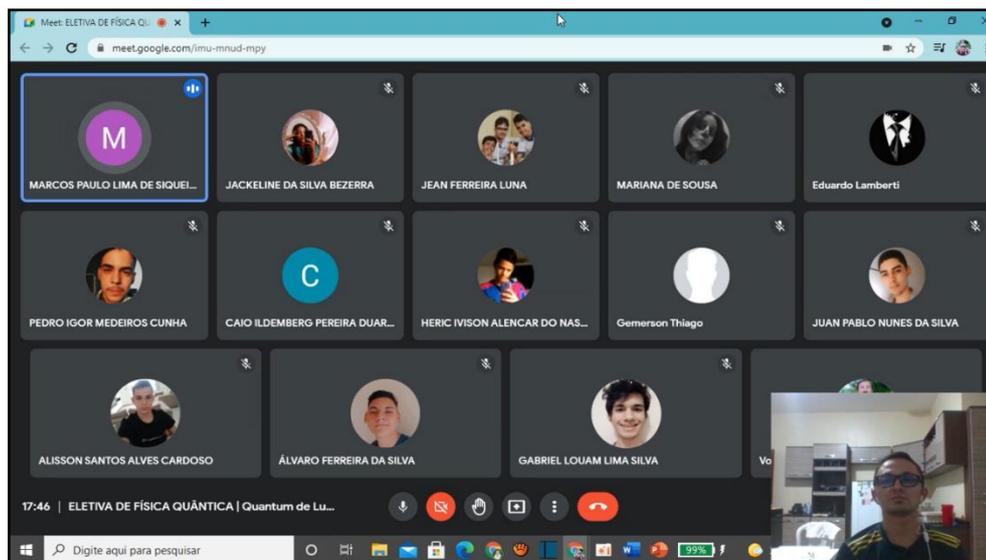
Quanto ao item C, que faz referência a incidência de sol em dias de verão intenso, notoriamente, a turma concordou que o fenômeno se evidenciaria, haja vista a quantidade de luz que certamente chegava ao dispositivo. Nesse intento, já no último ponto da discussão, refletimos juntos aos alunos. Isso portanto, propomos uma questão incentivadora,

“...implica dizer que, quanto mais luz (intensidade) mais garantias temos do funcionamento do sistema?”

Para tal pergunta, foi quase unanimidade em dizer que sim, a intensidade luminosa avalizaria o funcionamento do sistema. Dessa forma, podemos acreditar que na próxima etapa, é preciso tomar conhecido dessas variáveis e sua influência no funcionamento, o que não podemos incorrer em dúvidas ou permitir que eles permaneçam. Na Figura 5.10 que segue,

temos evidências das formulações alcançadas por cada grupo, e agora expostas para a apreciação de todos.

Figura 5.10: Exposição oral do aluno M.P. a apreciação coletiva.



Fonte: Próprio autor

E por fim (**Prova**), o professor, nessa etapa, precisou organizar as falas, levando em conta os pontos pertinentes e corrigiu os divergentes, na construção do modelo geral de explicação para o problema proposto. Após as discussões sobre as soluções maturadas pelos alunos, é que organizamos o conhecimento sistematizado, tendo o ponto de partida o proposto por cada equipe ou pelo grupo no geral. A “mão no bolso” aqui é manifestada quando socializamos com os alunos as possibilidades de progredirem e ampliarem seus raciocínios em torno das situações-problemas. Evocamos os textos de fundamentação teórica que aborda sobre a conceituação da cinética do elétron e seus desdobramentos para formas de emissão de luz (fóton), em especial (excitação, relaxação, incandescência, fluorescência e fosforescência), apresentados através do Produto Educacional (Portal) para referendar se o fator clima interfere nesse processo.

Sétimo Encontro (3º Dia de aplicação da Metodologia Fedathi)

A exemplo dos encontros anteriores, foi requisitado aos estudantes assumirem as mesmas posições que o fizeram nos últimos encontros, na formação das equipes, para dar sequência a mais uma problematização.

Assim sendo, apresentamos (**Tomada de Posição**) as seguintes situações problemas:

- a) *No caso do acendimento automático dos postes, é possível alterar a intensidade luminosa, ou seja, quando o Sol parar de emitir luz os postes vão poder apresentar mais ou menos brilho?*
- b) *Qual o nome do fenômeno físico que está relacionado ao problema?*
- c) *A frequência da luz emitida, caso fosse possível substituir o sol nesse processo, alteraria a luminosidade?*

Partiremos dessas situações-problema para propor aos alunos mais uma investigação e descoberta das variáveis que podem incorrer no efeito fotoelétrico. Nesse encontro os alunos terão a oportunidade de manusear o simulador virtual PhET, da Universidade do Colorado (EUA), verificar quais incógnitas incorrem na alteração ocorrida no fenômeno, qual faixa de luz (frequência) permite-se evidenciar o experimento, enfim, foi um momento de grandes achados.

A princípio os alunos foram investigando as variáveis que envolviam o processo, ali apresentado, pelo simulador PhET, incorporado ao produto educacional e disponibilizado via Link em Anexo 03, no presente trabalho e disponível em <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/>.

O aluno E.S questiona:

“... porquê não acontece nada? Tenta com o vermelho”

O seu companheiro de equipe H.I. complementa:

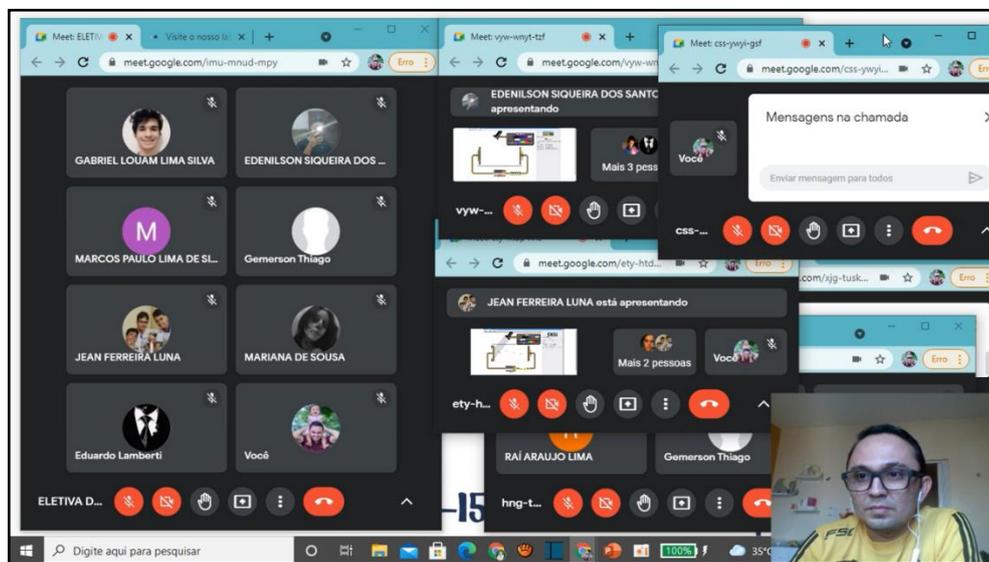
“... parece que o violeta funciona mais”.

Nota-se que os alunos já perceberam que apenas uma faixa de luz é ideal para conseguir gerar corrente elétrica, ou seja, ejetar elétrons da placa de material em questão. No entanto, verificam que existe um material (alvo) diferente e, portanto, começam a testar com os demais, como por exemplo, zinco, cobre, cálcio, platina etc. Notam que desses, apenas a platina vai oferecer uma menor corrente elétrica.

Destinou-se um tempo de 15 a 20 minutos para os grupos refletirem e, a partir de algumas discussões particulares, levantarem seus posicionamentos acerca do fenômeno em si. Aqui nessa etapa (**Maturação**), os alunos debruçarão sobre suas ideias e pensamentos, o

professor pode ser até consultado com mais frequência, dada a limitação de conhecimento teórico dos estudantes sobre o tema, cabendo a ele instigar a investigação, a pesquisa e a reflexão para com os fenômenos correlatos e já existentes ao problema proposto. Vejamos na Figura 5.11 a seguir, um registro do atual momento.

Figura 5.11: Alunos em salas temáticas, acessando o Simulador (Experimento N. 01) disponível no Portal.



Fonte: Próprio autor

Enquanto outras equipes também tentam fazer seus paralelos com os encontros anteriores, observa por exemplo, o aluno M.P que

“... o LDR vai capturar a luz, alimentando a bobina, fazendo com que o relê que estava aberto se feche e então permita a passagem de corrente, agora é preciso verificar essas outras variáveis que o simulador tem, por exemplo frequência da luz, a intensidade e o material alvo”.

A equipe aos poucos vai estudando, investigando e concluindo que outras faixas de luz, vão permitindo mais fluxo, aliado a mudança de material (alvo), ou seja, para eles a intensidade é um fator determinante no processo. Outras equipes demonstraram dificuldade em manusear o simulador. Sugerimos verificar os recursos que ele dispõe, como por exemplo, alterar a faixa de luz emitida, ou a intensidade de energia lançada no alvo, a ponto deles mesmos perceberem o que pode contribuir para o funcionamento do sistema ou não.

No tocante ao fenômeno físico que investigamos desde o princípio, foi unânime a resposta, de que o que estava por trás daquele fenômeno era o efeito fotoelétrico. Fato, o efeito fotoelétrico foi sugerido desde encontros anteriores, inclusive pela própria etimologia da

palavra, *foto (luz) elétrico (corrente ou eletricidade)*, corrente elétrica oriunda da emissão de luz.

De posse dos apontamentos, os alunos foram convidados a expor suas conclusões para o grande grupo, a ponto de cada equipe poder contribuir e receber contribuições pelo trabalho do colega ou equipe vizinha, na construção de um modelo real. Nesse momento (**Solução**) podemos perceber que foi satisfatório a aplicação da sequência de ensino, no que tange alguns comentários. Por exemplo, o aluno J.P, na tentativa de responder ao item A, responde:

“... professor, pelo que entendi da questão é que o sol vai ter influência fazendo com que o poste acenda ou não. Não se ele vai conseguir iluminar tão intensamente ou tão pouco, assim eu pensei que o que poderia interferir na intensidade da luz, era se ele estaria recebendo a quantia certa de energia para a lâmpada”.

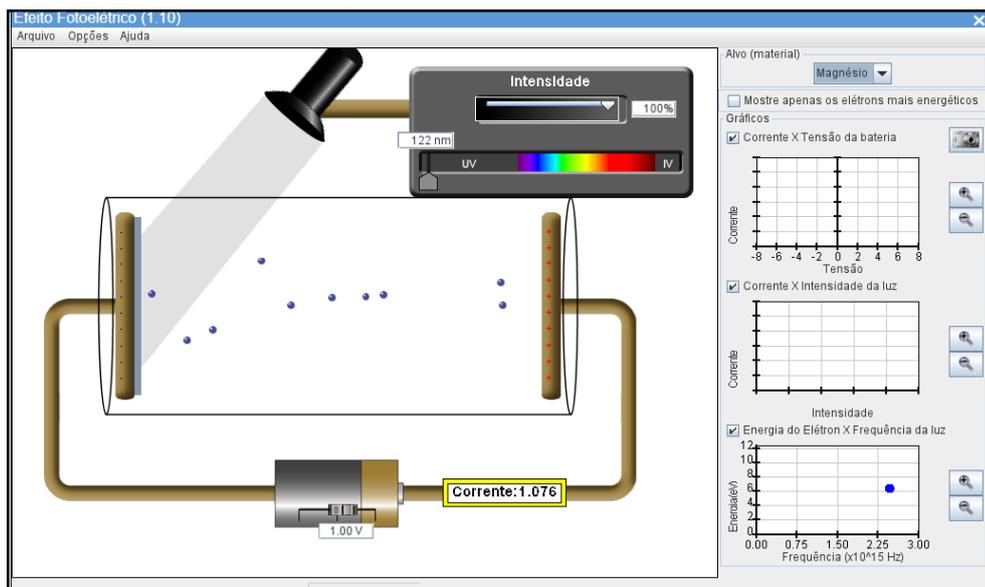
Uma conclusão bem promissora, que utilizaremos na próxima etapa (**Prova**).

O aluno M.P., de outra equipe complementa,

“...Nós compreendemos que, o sol tá jogando ali energia luminosa, que vai alimentar o LDR e vai fazer o sistema funcionar, já na ausência dos feixes luminosos (sol), o LDR vai permitir que o relê fique fechado, enquanto isso vai se permitir a passagem toda disponível da corrente, pois não temos um potenciômetro pra dizer quanto de corrente vai passar pra lâmpada, mas percebe-se que quanto maior a frequência mais elétrons são ejetados da placa”.

Aqui o aluno, de forma equivocada, menciona potenciômetro, mas ainda assim é válido sua consideração. Abaixo temos a Figura 5.12, que revela compreensão que este estudante teve do fenômeno.

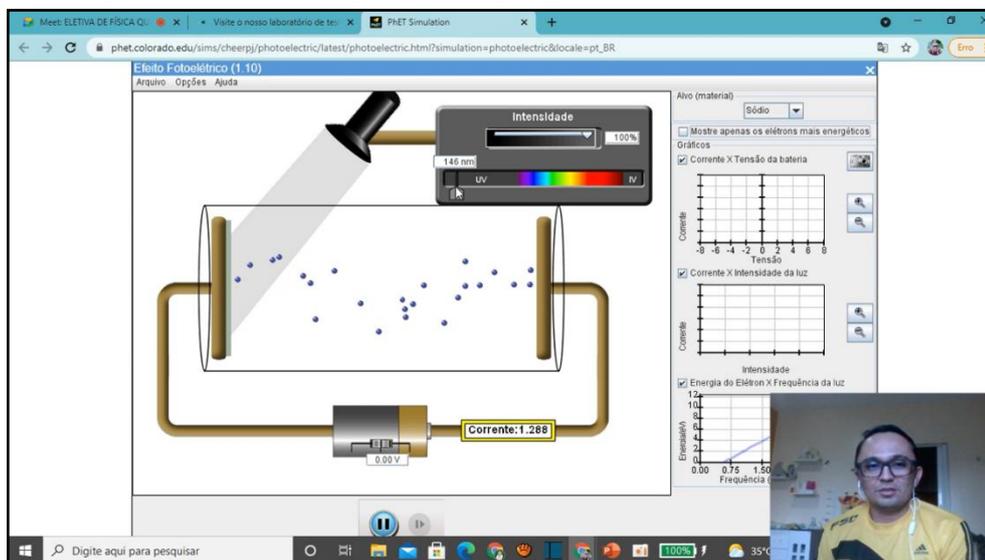
Figura 5.12: Demonstração conclusiva do aluno M.P. fazendo uso do simulador



Fonte: Próprio autor

Para culminar, foi preciso nessa etapa (**Prova**) alinharmos os pontos que convergem para a resposta correta do problema, e evoluir, junto aos alunos, com as construções que eles apresentarão e que não foram suficientemente coerentes. É nesse intento, que verificamos se a Tomada de Posição foi ressignificada, ou seja, se houve avanços no tocante a busca pela solução daquela situação-problema. Para isso, fizemos uso do simulador PhET da Universidade do Colorado (EUA), plataforma disponível gratuitamente para livre acesso, incorporado (embutido) ao Produto Educacional (Portal). Acompanhe um registro da sistematização feito pelo professor, na Figura 5.13 a seguir.

Figura 5.13: Sistematização realizada pelo professor, fazendo uso do simulador



Fonte: Próprio autor

O objetivo foi mostrar aos alunos que dentro do espectro da luz visível, existe uma faixa de luz (cor) que apresenta um mínimo necessário para a ejeção dos elétrons. Com a luz branca emitida pelo sol, não é possível verificar qual frequência é mais importante para o processo de indução de corrente, mas com simulador fica possível observar que a partir da luz violeta o processo indução de corrente elétrica se estabelece.

Oitavo Encontro – Avaliação dos estudantes para a Metodologia Fedathi

E por fim, chegamos ao nosso último encontro da intervenção pedagógica. Nele propusemos um debate coletivo, a pondo de colher dos discentes uma avaliação sobre a aplicação da Metodologia Fedathi e se ela conseguiu alavancar avanços. O debate é muito importante, e discutir com pessoas que pensam diferente, e outros que pensam igual, ajuda a avançar para chegarmos a respostas satisfatórias. Temos também a questão, que muitos estudantes não têm coragem de perguntar direto ao professor sobre situações do conteúdo ou metodologia da aula. Usando a Metodologia Fedathi, onde o estudante é sujeito ativo da aprendizagem, o aluno fica à vontade, pois vai poder dialogar com outro aluno, igual a ele, um reforçando o que outro compreendeu ou falou.

“Estou muito satisfeito, realmente é muito fácil entender assim do que apenas com aula expositiva, no quadro ou com slides”, afirmou o aluno J.P. E ele ainda acrescenta: “... esse método faz o aluno despertar o interesse pela investigação, pela pesquisa, pelo trabalho em equipe (colaborativo). Nos sentimos mais úteis durante a aula, como se fôssemos o protagonista na busca pelo conhecimento”.

Diante da fala do aluno, percebemos claramente que os objetivos foram atendidos, mostrando que a Metodologia Fedathi funciona como alicerce para o fazer pedagógico do professor, e induz ao trabalho criativo e espontâneo do discente. A Metodologia Fedathi leva a rupturas do processo tecnicista ou depositária de educação, já tão incrustado no sistema atual e viabiliza caminhos a serem percorridos para ambos os agentes do processo ensino-aprendizagem.

Reforçando o que já foi exposto, o aluno M.P, apresenta:

“... é muito gratificante, pra nós estudantes, sermos desafiados a pesquisa e reflexão de um problema, do que simplesmente pensar junto ao professor, quando este expõe conteúdos e

mais conteúdos num quadro negro. Dessa forma, buscamos, interagimos, discutimos e concluímos, seja certo ou errado, mas acredito termos evoluído, sendo assim na minha ótica, muito satisfatório a experiência com esse método de ensino.”

A fala do aluno M.P. corrobora com o que menciona o seu colega de sala J.P. Enaltece a praticidade do processo e o quanto foi eficiente trabalhar dessa forma dirigida (mediada), isso sem falar no direcionamento que provoca na prática do docente.

Alguns alunos confirmaram, com poucas palavras, o quanto foi positivo o uso da Metodologia Fedathi. Alertaram para o fato de aproximarem de estratégias utilizadas por alguns de seus professores, no entanto, de maneira simplificada, sem essas sequências que o professor fedathiano segue.

Destacaram o fato de que o ensino remoto, algo que foi paliativo durante esse período pandêmico, não contribuiu satisfatoriamente para o entendimento de algumas de suas etapas. Isso por se tratar de um componente curricular de difícil compreensão até mesmo no presencial, mas que ainda assim a Metodologia alavancou resultados satisfatórios. Este último ponto que foi levantado foi de extrema importância para compreendermos o limite do ensino remoto.

Sabemos que não foi fácil para muito setores da sociedade, conviver e dar sequência a vida, os negócios, as parceiras e tudo mais durante este período de trabalho remoto. E no tocante a educação, vimos o quanto foi desafiador ministrar aulas, exigir o cumprimento das atividades e esperar resultados promissores. Ainda mais numa intervenção pedagógica como a que nos propomos, usando uma metodologia que prima pelo diálogo entre os estudantes e entre estudantes e professor.

A seguir temos a fala de um estudante que destaca as dificuldades no ensino remoto:

“... até que estava gostando, mas durante um momento da aula minha internet caiu e fiquei por pouco tempo, usando os dados móveis que me restava. Até então me pareceu bastante interessante, questionar meu colega, discutirmos juntos a fim de chegarmos a um denominador comum.”

Outros completava a dificuldade do momento.

“... professor, aqui em casa teve uma queda de energia desde o início da manhã, não sei se vai dar tempo chegar energia para participar da aula, queria muito pois vi como foi produtivo na semana passada, e hoje não tenho como sair em busca de sinal em alguma casa, estou só.”

Pelo fato do estudante estar em casa, alguns foram cobrados pela família para executar tarefas durante a aula, como mostra a fala abaixo:

“... professor Edson, licença, hoje infelizmente não poderei participar. Como eu moro no sítio, o senhor já deve saber, agente em casa precisa ajudar na ‘lida’ da roça. Então hoje não tem como eu poder estar presente”.

Enfim, dilemas como esses aconteceram com frequência, e infelizmente não podíamos julgar a situação, o quanto de cada um desses discursos são verídicos. Mas observamos mesmo assim, que uso da Metodologia Fedathi gerava reflexão, concordância em falas, pensamentos, propostas, no intuito de um modelo geral e concreto para as situações-problemas expostos.

CAPÍTULO 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Efeito Fotoelétrico, verificado e descoberto por Heinrich R. Hertz e, plenamente, explicado por Albert Einstein, jamais pode passar por despercebido. Foi um fenômeno que provocou profundas mudanças no meio científico, sem falar nas diversas aplicações do cotidiano. Por isso da relevância de tratar desse assunto logo na educação básica, em especial apresentados aos alunos do ensino Médio, seja por experimentação, evidência de aplicação ou simulação virtual, como assim fizemos através do Portal Interativo (produto educacional).

Sabemos que inúmeras foram as contribuições que Einstein, o cientista do século XXI, deixou para a humanidade. Dentre elas algumas de notável expressividade no mundo acadêmico, como foi o caso da Teoria da Relatividade, porém a que lhe rendeu o prêmio Nobel em Física em 1921 foi o Efeito Fotoelétrico. Dessa forma, perceber o quanto se faz presente em nosso convívio, sua aplicação contemporânea e progresso nos rumos da ciência, torna-se quase que obrigação nossa de físico-professor.

Na presente dissertação tentamos alinhar o uso da Metodologia Fedathi, como proposta de ensino, que motiva a investigação científica em uma de suas etapas para a construção da aprendizagem, além de oferecer elementos que contribuem para a prática do docente nesse processo de ensino, permitindo a ativa e perene participação do educando durante todo o processo. Onde mesmo diante de toda dificuldade que nos foi imposta pela pandemia do Corona Vírus, através dos encontros remotos de aplicação, percebemos claramente que os objetivos foram alcançados.

A proposta sempre foi o ensino da Física Moderna, em especial do Efeito Fotoelétrico a partir da experimentação, ainda que através de simuladores virtuais, fazendo uso da sequência de ensino fedathiana. Em consonância foi então desenvolvido o Portal Interativo de Física Moderna, o nosso produto educacional. Nele os alunos foram levados a pesquisar, ler, refletir e simular através dos recursos disponíveis e sequenciados pela estrutura lógica, tendo em vista as etapas da Sequência Fedathi: Tomada de Posição, Maturação, Solução e Prova.

Constatamos que a utilização desse produto educacional (Portal Interativo) foi peça fundamental da intervenção pedagógica, haja vista que o momento atual não propiciava outras opções de uso. Como o que disponibilizávamos eram os recursos de internet, aulas síncronas e

simuladores virtuais (PhET Simulations – incorporado ao Portal). Dessa forma nosso produto dialogou perfeitamente com essa prática.

Notamos ainda que a aceitação a essa proposta de ensino (Metodologia Fedathi) foi muito bem avaliada, logo após os encontros da aplicação. O que era esperado da disciplina e comportamento dos estudantes se concretizou em suas participações, questionamentos e debates. Foram saberes novos que chegaram, anexados aos conhecimentos prévios e interiorizados, pelo menos é o que foi demonstrado em seus depoimentos. Embora seja muito difícil mensurar o quanto foi significativo essa interferência para os alunos, mesmo tendo ciência de que todas as etapas foram aplicadas com muita clareza.

Um dado importante a ser considerado é que toda a intervenção pedagógica se deu em ambiente virtual, fazendo uso das tecnologias digitais de ensino, em especial das plataformas de streaming (Google Meet). Os comandos e seus desdobramentos só foi possível graças a esse recurso, que foi potencializado a partir da necessidade de isolamento social imposto pela Covid-19. Os desafios surgiram, em alguns momentos impossibilitarão o encontro para alguns estudantes, mas não causaram desânimo na turma, pois tratava-se de um assunto de interesse dos próprios. Uma vez que essa turma era composta de alunos que demandaram estudar sobre esse tema, são as novas propostas de itinerários formativos (disciplinas eletivas).

O Ensino da Física Moderna é um grande achado para os dias atuais, o crescente interesse e curiosidade por temas nessa linha precisam continuar. Vimos que a Metodologia Fedathi foi eficiente e nos acende uma alerta. É preciso provocar ainda mais mudanças no comportamento e prática do docente dentro da sala de aula, pois essa ferramenta é altamente promissora no caminho de uma aprendizagem significativa. Esperamos que o Portal continue sendo interativo a outros educadores e educandos de física de todo o nosso país, não só para o ensino do Efeito Fotoelétrico, mas para a difusão do estudo da física moderna e contemporânea.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Viviane Silva de. *A Sequência Fedathi e o ambiente Virtual de Ensino Telemeios na determinação na equação da reta*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ARAÚJO, F. V. ; NOBRE, F. A. S. ; JUNIOR, J. A. A. ; DANTAS, C. R. S. *Uma Aplicação do Software Educacional PhET Como Ferramenta Didática no Ensino da Eletricidade, INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO: teoria & prática*. Porto Alegre, v. 18, n. 2, jul./dez. 2015.

BORDANAVE, I. *Estratégias de aprendizagem*. São Paulo: Vozes, 1993.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: Além das ciências duras*. Vol. 02 - Curitiba. CRV, 2017.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: interfaces com o pensamento pedagógico*. Vol. 04 - Curitiba. CRV, 2019.

BORGES NETO, H. (et all). *Sequência FEDATHI - Uma proposta pedagógica para o ensino de ciências e matemática*. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: Fundamentos*. Vol. 03 - Curitiba. CRV, 2018.

EISBERG, Robert & RESNICK, Robert. *QUANTUM PHYSICS, of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles*. JOI-IN WILEY & SONS, New York, 1974.

FERRARO, Nicolau Gilberto & SOARES, Paulo Toledo. *Física Básica*. Volume Único, 4º reimpressão, São Paulo, Editora Atual, 1998.

FERRARO, Nicolau Gilberto; PENTEADO, Paulo César; SOARES, Paulo Toledo; TORRES, Carlos Magno. *Física Ciência e Tecnologia*. Volume Único, Editora Moderna, 2001

GASPAR, Aberto. *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna*. São Paulo, Editora Ática, 2000.

GILMORE, Robert. *Alice no País do Quantum*. Trad. André Penido. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1998.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert and KRANE, Kenneth S. *Física 4*. 4ª Edição, 1992.

HEWITT, P. G. *física conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MINAYO, M. C. S. (Org.). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2001.

MEDEIROS A.; MEDEIROS, C. F. *Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre/RS, v. 24, n. 2, p. 79, 2002.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de física básica, 4: ótica, relatividade, física quântica*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2014.

SOARES, T. A. *A Contribuição da Sequência de Ensino FEDATHI no Processo de Ensino e Aprendizagem em Física*. 2016. 84f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Regional do Cariri – URCA, Juazeiro do Norte, 2016.

SOUZA, M.J.A. *Aplicações da sequência FEDATHI no ensino e aprendizagem da geometria mediado por tecnologias digitais*. Fortaleza.f.230 [Tese(Doutorado)]. Curso de Pós Graduação em Educação. Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, 2010.

OREAR, Jay. *Física*. Trad. Ivan Cunha Nascimento e José Roberto Moreira. Rio de Janeiro, LTC, 1971.

PCN's (MEC / SEMTEC, 2002).

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. *Física. 6ª edição (reformulada)*. São Paulo, Editora Ática, 2003.

TIPLER, Paul A. *Física. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi*. 4. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2000.

YOUNG, Hugh D. *Fundamentals of Optics and Modern Physics*. McGraw-Hill Book Company, 1968.

ANEXOS

ANEXO 01 – AS LUZES DA CIDADE

Texto disponível no Produto Educacional (Portal Interativo de Física Moderna)

O dia nem clareou ainda e você já está de pé, como fazem milhares de brasileiros, todos os dias. A cidade parece dormir, as luzes dos postes de iluminação ainda estão acesas, ajudando a clarear a escuridão.

Mas de repente o Sol começa a se levantar. E, ao mesmo tempo, como num passe de mágica, as luzes da cidade começam a se apagar, uma após a outra. Você se pergunta: será que há alguém cujo trabalho é desligar o interruptor de cada uma das lâmpadas das ruas? Trabalho chato, hein? Levanta cedo e todo dia, a mesma coisa: ligar as lâmpadas ao entardecer desligá-las quando amanhece...

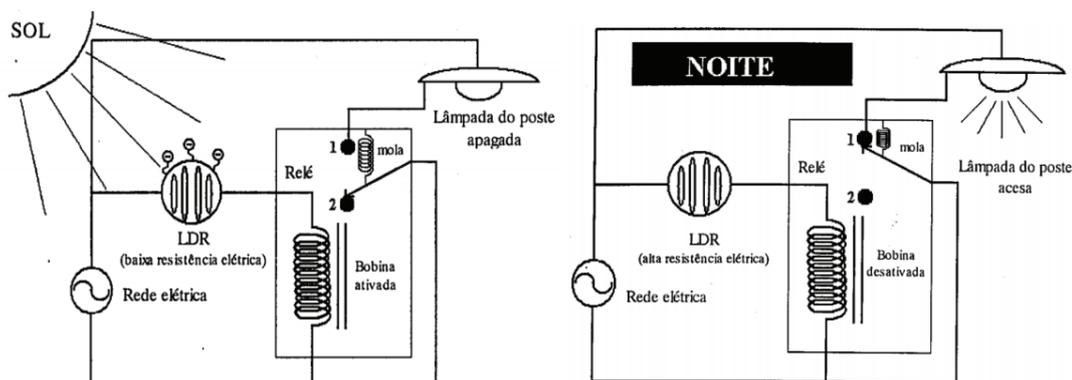
Mas ninguém tem um trabalho destes, não. Quem acende e apaga as luzes da cidade são as chamadas fotocélulas. Por exemplo, as ruas de São Paulo são iluminadas por 529 mil lâmpadas, e lá há cerca de 30 mil fotocélulas. Cada fotocélula atinge entre 25 e 35 lâmpadas e pode englobar mais de uma rua, dependendo do local. É por isso que, quando as lâmpadas se apagam ou se acendem, a gente pode observar uma sequência de luzes, porque elas estão agrupadas: um grupo se acende ou se apaga sempre junto.

Quando o céu começa a clarear, a luz do Sol incide na fotocélula, ela atinge o fotosensor (aparelho sensível à luz do Sol), e é acionado um mecanismo para apagar todas as lâmpadas. Já quando o Sol se põe, ou quando chove ou o céu se cobre de nuvens, não há mais luz solar para incidir na fotocélula, e todas as lâmpadas são acesas automaticamente.

O sistema público de iluminação tem seu funcionamento automatizado, permitindo o acendimento e apagar das luzes em momentos específicos do dia. Esse sistema funciona da seguinte forma: durante o dia, o LDR (Light Dependent Resistor, em português Resistor dependente de luz) ao ser iluminado pela luz solar, apresenta uma resistência elétrica menor, uma vez que a luz incidente promove no LDR a disponibilidade de elétrons livres, ou seja, quanto maior incidência de luz menor a resistência. Com a diminuição da resistência do LDR, a corrente elétrica consegue atravessar uma bobina, o que acarreta na formação de um campo magnético. A chave do relé é então atraída para a posição 2, devido este campo magnético, impedindo que a corrente elétrica passe pelo filamento da lâmpada (figura 4). Ao anoitecer, devido à ausência da luz solar, os elétrons livres não são mais liberados e com isso aumenta a resistência elétrica do LDR, o que implica no impedimento da passagem da corrente elétrica a

bobina, desativando-a. Com a redução do campo magnético, a chave do relé retorna a posição 1, acionando a lâmpada.

Figura: sobre o funcionamento da iluminação pública, a partir do Efeito fotoelétrico



Fonte: VALADARES; MOREIRA (1998, p. 124-125).

O LDR do sistema de iluminação é sensível a faixa de luz visível ao olho humano, devido possuir sulfeto de cádmio como material base, para outras aplicações como é o caso do funcionamento do controle remoto de televisão, a sensibilidade da resistência do LDR se encontra na faixa do infravermelho, assim é necessário utilizar-se de outros materiais como base, a exemplo do arsenieto de gálio (VALADARES; MOREIRA, 1998).

Disponível em: < <https://quantumdeluz.com.br/as-luzes-da-cidade/> >

ANEXO 02 – COMO SÃO LIGADAS AS LUZES PÚBLICAS?

Texto disponível no Produto Educacional (Portal Interativo de Física Moderna)

Em 150 anos de história, a iluminação das ruas passou por três fases:

Lampiões a gás

Até a metade do século XIX, a maioria das cidades brasileiras vivia no escuro. Foi quando apareceram os primeiros lampiões a gás, acesos manualmente, um de cada vez. Em São Paulo, eles surgiram em 1872, mas só no centro. A periferia continuou no breu.

Lâmpadas incandescentes

Os lampiões sumiram logo: a partir de 1883, a energia elétrica e as lâmpadas incandescentes (iguais às que a gente usa em casa) chegaram às ruas brasileiras. Mas o acendimento ainda era manual, por meio de chaves que ligavam de 20 a 40 postes.

Lâmpadas de mercúrio e sódio

Em 1966, mais uma inovação: lâmpadas de vapor de mercúrio, de luz mais forte e branca, substituem as incandescentes, que eram amareladas. A partir de 1989, surgem as lâmpadas de sódio. Usadas até hoje, elas são quatro vezes mais eficientes.

Foi-se o tempo em que um funcionário da companhia de eletricidade precisava acender poste por poste: hoje, esse trabalho é feito automaticamente, respeitando a diminuição da luminosidade natural. Os postes são equipados com sensores conhecidos como fotocélulas ou relés fotoelétricos, que detectam o momento em que a luz do Sol não é mais suficiente para iluminar o local. As tais fotocélulas são caixinhas do tamanho de xícaras, com aberturas para a entrada dos raios de luz.

Eles ficam atrás do poste na mesma altura da lâmpada, como é ele que tem a função de captar a luz solar, fica voltado para aonde o sol nasce, portanto para o lado leste, quando a incidência solar é alta, a resistência do aparelho diminui fazendo com que passe corrente elétrica, ativando os relés e desligando as lâmpadas, porém quando há pouca incidência de luz

sobre a fotocélula, à noite ou quando chove muito, sua resistência aumenta levando a interrupção da corrente elétrica, logo desligando os relés e, acendendo as lâmpadas.

Nessa altura, você deve estar se perguntando: e em dias nublados, corremos o risco de ficar sem luz? Nada disso, pois mesmo que o Sol não apareça seus raios são detectados. A diferença é que, com menos sol, as luzes são acesas mais cedo: no inverno, por volta das 6 da tarde, uma hora e meia antes que no verão. Em uma cidade como São Paulo, onde a distância entre os postes não costuma ser maior que 40 metros, um sensor aciona em média 40 lâmpadas. Em áreas rurais, onde a distância entre os postes é maior, a fotocélula liga menos lâmpadas.

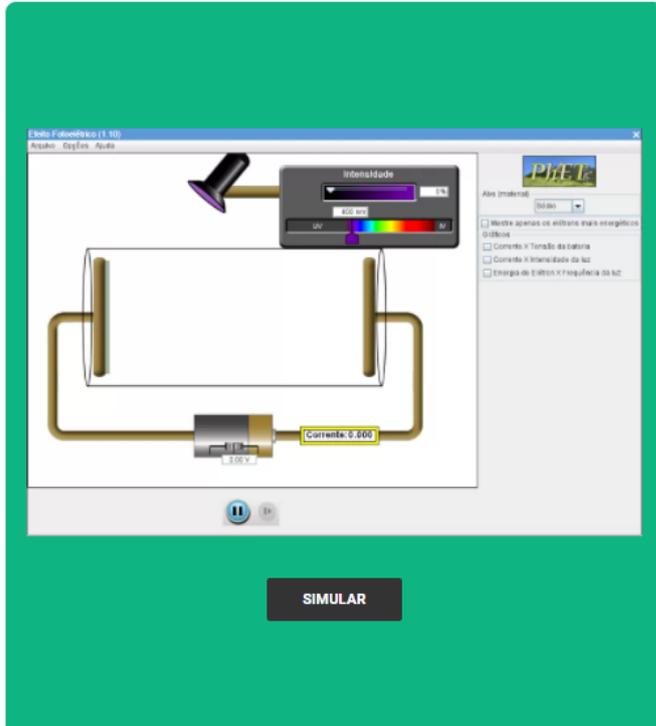
Mas esse esquema inteligente não dispensa completamente o trabalho humano. Toda noite, funcionários da prefeitura fazem rondas para checar se alguma fotocélula pifou e deixou áreas da cidade no escuro.

Disponível em: <<https://quantumdeluz.com.br/como-sao-ligadas-as-luzes-publicas/>>

ANEXO 03 – SIMULADOR VIRTUAL N. 01 (Efeito Fotoelétrico)

#Experimento 1:

Efeito Fotoelétrico



Teoria:

- Luz
- Mecânica Quântica
- Fótons

Descrição:

Veja como a luz bate em elétrons de um alvo metálico, e recrie a experiência que deu origem ao campo da mecânica quântica.

Alguns Objetivos de Aprendizagem:

- Visualizar e descrever a experiência do efeito fotoelétrico.
- Prever corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico, tais como: como mudar a intensidade da luz afetar a corrente e a energia dos elétrons, como a alteração do comprimento de onda da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como mudar a voltagem da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como alterar o material do alvo afetará a corrente e a energia dos elétrons.
- Descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz (por exemplo: argumentar que apenas um modelo de fóton de luz pode explicar por que, quando a luz está brilhando sobre o metal, mas não há corrente, aumentando a frequência levará a uma corrente, mas aumentando a intensidade da luz ou a tensão entre as placas não.



Disponível em: <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/>

APÊNDICES

APÊNDICE A – TESTE DE SONDAGEM SOBRE LUZ

Verificação TESTE DE SONDAGEM – N.º 01	Disciplina: ELETIVA: FÍSICA QUÂNTICA	Turma: 2º, 3º	Ensino: Médio	Bimestre: 3º E 4º
Professor: Edson Pereira de Morais			Data: 29.07.2021	
Aluno (a):			Nº:	NOTA:

Orientações Importantes:

1. Nosso *Teste de Sondagem* contém **10 questões**, que podem ser abertas e/ou fechadas, sendo importantíssimo você considerar o que sabe sobre o assunto e, portanto, discorrer sobre.
2. Destaque uma folha do seu caderno, resolva as questões, de maneira organizada e que contenha **todas as respostas**, sejam elas de cálculo ou não;
3. Tente ficar calmo, haverá tempo suficiente para tal;
4. Ao encerrar, favor fazer seu registro (foto ou PDF) e **enviar** em anexo pelo Classroom.

Bom Teste! Bom Rendimento!

Prof. Edson Morais

E-mail: mredson2012@gmail.com

QUESTÃO 01 - As folhas de uma árvore, quando iluminadas pela luz do Sol, mostram-se verdes porque:

- a) refletem difusamente a luz verde do espectro solar;
- b) absorvem somente a luz verde do espectro solar;
- c) refletem difusamente todas as cores do espectro solar, exceto o verde;
- d) difratam unicamente a luz verde do espectro solar;
- e) a visão humana é mais sensível a essa cor.

QUESTÃO 02 - As ondas contornam obstáculos. Isto pode ser facilmente comprovado quando ouvimos e não vemos uma pessoa situada em uma outra sala, por exemplo. O mesmo ocorre com o raio luminoso, embora este efeito seja apenas observável em condições especiais. O fenômeno acima descrito é chamado de:

- a) difusão
- b) dispersão
- c) difração
- d) refração
- e) reflexão

QUESTÃO 03 - Julgue as proposições a seguir:

- I – As cores dos objetos são determinadas pela frequência da luz;
- II – Quando um objeto é iluminado pela luz branca, parte dessa luz é absorvida e outra parte é refletida;
- III – Um objeto que apresenta cor preta absorve toda a luz que recebe;
- IV – Um material de cor branca não reflete nenhuma frequência de luz.

A sequência que apresenta a resposta correta é:

- a) V, V, F, F
- b) F, F, V, V
- c) V, F, V, F
- d) F, V, F, V
- e) V, V, V, F

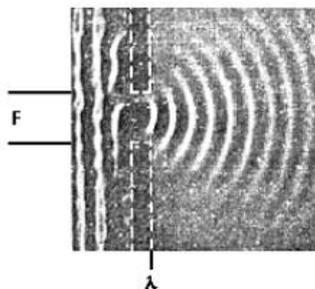
QUESTÃO 04 - A respeito da difração, assinale a opção falsa:

- a) O som se difrata mais do que a luz, porque o seu comprimento de onda é maior.

- b) Os sons graves se difratam mais do que os sons agudos.
- c) A luz vermelha se difrata mais do que a violeta.
- d) Para haver difração em um orifício ou fenda, o comprimento de onda deve ser maior ou da ordem de grandeza das dimensões do orifício ou fenda.
- e) Apenas as ondas longitudinais se difratam.

QUESTÃO 05 - Um trem de ondas planas de comprimento de onda λ , que se propaga para a direita em uma cuba com água, incide em um obstáculo que apresenta uma fenda de largura F . Ao passar pela fenda, o trem de ondas muda sua forma, como se vê na fotografia a seguir. Qual é o fenômeno físico que ocorre com a onda quando ela passa pela fenda?

- a) Difração.
- b) Dispersão.
- c) Interferência.
- d) Reflexão.
- e) Refração.



QUESTÃO 06 - Marque a alternativa correta a respeito dos fenômenos da refração e reflexão de ondas.

- a) A reflexão de ondas em cordas é caracterizada por uma inversão de fase dos pulsos refletidos.
- b) Na reflexão, assim como na refração, a frequência da onda refletida é alterada.
- c) Na refração de ondas na água, as ondas que passam de uma região de maior profundidade para uma região de menor profundidade têm seu comprimento diminuído.
- d) Na refração de ondas eletromagnéticas, as ondas do meio com menor índice de refração possuirão maior frequência.
- e) A alteração do comprimento de onda é uma característica de ondas que sofrem refração e reflexão.

QUESTÃO 07 - Verifica-se que, ao sofrer refração, um trem de ondas mecânicas apresenta um novo perfil de oscilação, em que a distância entre duas cristas consecutivas de suas ondas tornou-se maior. Comparativamente ao que possuía o trem de ondas antes da refração, a frequência se _____, a velocidade de propagação se _____ e a amplitude se manteve, já que o novo meio é _____ refringente. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- a) alterou ... alterou ... menos
- b) alterou ... manteve ... mais
- c) manteve ... alterou ... mais
- d) manteve ... alterou ... menos
- e) manteve ... manteve ... mais

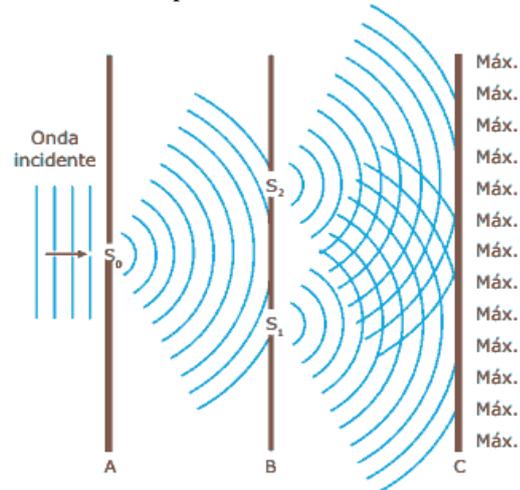
QUESTÃO 08 - Marque a alternativa correta a respeito da refração de ondas.

- a) A região de maior velocidade da onda sempre possuirá ondas de maior frequência.
- b) Em um lago, as regiões mais rasas apresentam ondas mais velozes que as ondas de regiões mais profundas.
- c) Na refração, as ondas mantêm seu comprimento de onda inalterado, pois essa característica depende exclusivamente da fonte.
- d) Em um lago, as regiões mais rasas apresentam ondas menos velozes que as ondas de regiões mais profundas.
- e) A região de maior velocidade da onda sempre possuirá ondas de menor frequência.

QUESTÃO 09 - Marque a alternativa correta a respeito do fenômeno da interferência.

- a) O fenômeno da interferência só ocorre com ondas unidimensionais.
- b) Na interferência construtiva, as ondas encontram-se com fases invertidas.
- c) Na interferência destrutiva, as ondas encontram-se com fases iguais.
- d) Quando duas ondas de mesma amplitude sofrem interferência destrutiva, ocorre aniquilação.
- e) Quando duas ondas com amplitudes diferentes sofrem interferência construtiva, as amplitudes são somadas, e a onda resultante mantém o sentido de propagação da onda que possuía maior amplitude.

QUESTÃO 10 - Na figura a seguir, C é um anteparo e S, S1 e S2 são fendas nos obstáculos A e B.



Assinale a alternativa que contém os fenômenos ópticos esquematizados na figura.

- a) Reflexão e difração
- b) Difração e interferência
- c) Polarização e interferência
- d) Reflexão e interferência

APÊNDICE B – TESTE DE SONDAGEM SOBRE FÍSICA ATÔMICA

Verificação TESTE DE SONDAGEM – N.º 02	Disciplina: ELETIVA: FÍSICA QUÂNTICA	Turma: 2º e 3º	Ensino: Médio	Bimestre: 3º E 4º
Professor: Edson Pereira de Moraes			Data: 19.08.2021	
Aluno (a):			Nº:	NOTA:

Orientações Importantes:

1. Nosso *Teste de Sondagem* contém **10 questões**, que podem ser abertas e/ou fechadas, sendo importantíssimo você considerar o que sabe sobre o assunto e, portanto, discorrer sobre.
2. Destaque uma folha do seu caderno, resolva as questões, de maneira organizada e que contenha **todas as respostas**, sejam elas de cálculo ou não;
3. Tente ficar calmo, haverá tempo suficiente para tal;
4. Ao encerrar, favor fazer seu registro (foto ou PDF) e **enviar** em anexo pelo Classroom.

Bom Teste! Bom Rendimento!

Prof. Edson Moraes

E-mail: mredson2012@gmail.com

QUESTÃO 01 - Sabe-se que é possível existir inúmeras interações da luz com a matéria, por várias partículas subatômicas, como íons, prótons ou elétrons em movimento. Dessa rica interação, você é capaz de citar com o quê a absorção e emissão do espectro visível mais se relaciona?

QUESTÃO 02 - Em fogos de artifício, as diferentes colorações são obtidas quando se adicionam sais de diferentes metais às misturas explosivas. Assim, para que se obtenha a cor verde é utilizado o cobre, enquanto para a cor vermelha utiliza-se o estrôncio. A emissão de luz com cor característica para cada elemento deve-se:

- a) aos elétrons desses íons metálicos, que absorvem energia e saltam para níveis mais externos e, ao retornarem para os níveis internos, emitem radiações com coloração característica.
- b) às propriedades radioativas desses átomos metálicos.
- c) aos átomos desses metais, que são capazes de decompor a luz natural em um espectro contínuo de luz visível.
- d) à baixa eletronegatividade dos átomos metálicos.
- e) aos elevados valores de energia de ionização dos átomos metálicos.

QUESTÃO 03 - O sulfeto de Zinco – ZnS – tem a propriedade denominada de fosforescência, capaz de emitir um brilho amarelo-esverdeado depois de exposto à luz. Analise as afirmativas a seguir, todas relativas ao ZnS, e indique a opção correta:

- a) salto de núcleos provoca fosforescência.
- b) salto de nêutrons provoca fosforescência.
- c) salto de elétrons provoca fosforescência.
- d) elétrons que absorvem fótons aproximam-se do núcleo.
- e) ao pagar a luz, os elétrons adquirem maior conteúdo energético.

QUESTÃO 04 - A natureza da luz é um assunto que tem estado presente nas discussões de cientistas e filósofos há séculos, principalmente a partir da possibilidade de aplicação de fenômenos luminosos por comportamentos tanto ondulatórios quanto corpusculares. Segundo o princípio da complementaridade, proposto por Niels Bohr em 1928, a descrição ondulatória da luz é complementar à descrição corpuscular, mas não se usa as duas descrições simultaneamente para descrever um determinado fenômeno luminoso. Desse modo, fenômenos luminosos envolvendo a propagação, a emissão e a absorção da luz são explicadas ora considerando a natureza ondulatória, ora considerando a natureza corpuscular.

Assinale a alternativa que apresenta um fenômeno luminoso mais bem explicado, considerando-se a natureza corpuscular da luz:

- a) Espalhamento da luz ao atravessar uma fenda estreita.
- b) Interferência luminosa quando feixes luminosos de fontes diferentes se encontram.
- c) Mudança de direção de propagação da luz ao passar de um meio transparente para outro.
- d) Absorção de luz com emissão de elétrons por uma placa metálica.

QUESTÃO 05 - Os fenômenos relacionados à emissão de luz sempre chamaram a atenção dos cientistas. Dois desses fenômenos são a fluorescência e a fosforescência. Na fluorescência há emissão de luz por um material quando é estimulado por radiações eletromagnéticas, mas que cessa a emissão quando o estímulo é retirado. Já na fosforescência há emissão de luz por um material quando é estimulado por radiações eletromagnéticas, mantendo a emissão de luz mesmo após a retirada do estímulo. Diante do exposto pode-se afirmar que:

- a) Os ponteiros luminosos de um relógio e as placas de sinalização são formados por materiais fosforescentes.
- b) Os ponteiros luminosos de um relógio e as placas de sinalização são formados por materiais fosforescentes.
- c) Os ponteiros luminosos de um relógio são feitos por materiais fluorescentes, enquanto a tinta das placas de sinalização das rodovias é formada por materiais fosforescentes.
- d) Os ponteiros luminosos de um relógio são feitos por materiais fosforescentes, enquanto a tinta das placas de sinalização das rodovias é formada por materiais fluorescentes.

QUESTÃO 06 - A faixa de radiação eletromagnética perceptível dos seres humanos está compreendida entre o intervalo de 400 a 700 nm. Considere as afirmativas a seguir.

- I - A cor é uma característica somente da luz absorvida pelos objetos;
- II - Um corpo negro ideal absorve toda a luz incidente, não refletindo nenhuma onda eletromagnética;
- III - A frequência de uma determinada cor (radiação eletromagnética) é sempre a mesma;
- IV - A luz ultravioleta tem energia maior do que a luz infravermelha.

Assinale a alternativa CORRETA:

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e III são corretas.
- c) Somente as afirmativas II e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

QUESTÃO 07 - Analise as alternativas seguintes e assinale aquela que somente apresente características da luz visível:

- a) massa, quantidade de movimento, torque
- b) cor, temperatura, carga elétrica
- c) intensidade, frequência, polarização
- d) intensidade, timbre, altura
- e) amplitude, volume e altura

QUESTÃO 08 - (Enem) Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

WENDLING, M. Sensores. Disponível em: www2.feg.unesp.br. Acesso em: 7 maio 2014 (adaptado).

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência:

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.
- e) das ondas longas de rádio.

QUESTÃO 09 - Analise as afirmações a respeito da luz e suas propriedades:

- I – A luz é uma forma de radiação eletromagnética.

- II – A luz é uma onda de propagação transversal.
- III – A luz propaga-se somente em meios materiais.
- IV – A luz não pode ser polarizada.

Com base em seus conhecimentos, são corretas:

- a) somente I
- b) somente II
- c) I e II
- d) II e III
- e) I, III e IV

QUESTÃO 10 - (Enem) Quando se considera a extrema velocidade com que a luz espalha-se por todos os lados e que, quando vêm de diferentes lugares, mesmo totalmente opostos, os raios luminosos atravessam uns aos outros sem se atrapalharem, compreende-se que, quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de uma matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar, pois certamente isso repugna bastante a essas duas propriedades da luz, principalmente a última.

HUYGENS, C. in: MARTINS, R. A. Tratado sobre a luz, de Cristian Huygens. Caderno de História e Filosofia da Ciência, supl. 4, 1986.

O texto contesta que concepção acerca do comportamento da luz?

- a) O entendimento de que a luz precisa de um meio de propagação, difundido pelos defensores da existência do éter.
- b) O modelo ondulatório para a luz, o qual considera a possibilidade de interferência entre feixes luminosos.
- c) O modelo corpuscular defendido por Newton, que descreve a luz como um feixe de partículas.
- d) A crença na velocidade infinita da luz, defendida pela maioria dos filósofos gregos.
- e) A ideia defendida pelos gregos de que a luz era produzida pelos olhos.



Universidade Regional
do Cariri - URCA

Edson Pereira de Morais ♦
Francisco Augusto Silva Nobre

O ensino da FÍSICA MODERNA:
o efeito fotoelétrico,
a partir da Metodologia Fedathi



QUANTUM DE LUZ

www.quantumdeluz.com.br

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	03
2. INTRODUÇÃO	04
3. PORTAL INTERATIVO DE FÍSICA MODERNA	06
4. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA USO DO PRODUTO EDUCACIONAL	14
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. APRESENTAÇÃO

Estimado professor e professora,

Apresentaremos aqui um material feito especial a você, de modo que possa motivá-lo a criar em sua sala de aula formas de enriquecer e dinamizar suas aulas, no sentido de conquistar o estudante para o conteúdo trabalhado. Ser um aliado à sua prática, quando se falar de ensino de Física Quântica.

Nossa pesquisa se apropriou da Metodologia de Ensino Fedathi, desenvolvida à luz da resolução de questões e dos trabalhos de pesquisa do Laboratório de Multimeios da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Ceará, sob a coordenação do Professor Dr. Hermínio Borges Neto, e o relato de experiência de uma intervenção pedagógica com o Produto Educacional: *Portal Interativo de Física Moderna* para o ensino de tópicos de Física Moderna.

Borges Neto entende que o aluno, não pode ser mais compreendido como um ser sem luz, para ele, quando o estudante for apresentado a uma situação-problema, ele deverá seguir um algoritmo específico, assim como a Ciências propõe aos matemáticos. É preciso levantar hipóteses, buscar informações que favoreçam tal ocorrência, debruçar sobre caminhos que possam levar à solução, verificar tais erros ou acertos, experimentar os conhecimentos assentados e avaliar os resultados encontrados, podendo incorrer sobre inverdades a ponto de corrigi-los e, por fim, elaborar um modelo geral. Nosso trabalho também se enquadra como pesquisa qualitativa, pois realizamos análise observacional da intervenção pedagógica.

Ao professor ou professora, que queira se aprofundar sobre a perspectiva teórica, como também ter detalhes do trabalho de dissertação que gerou esse Material Instrucional, e o próprio Produto Educacional, poderá, em breve, ter acesso a estes, acessando o site do Polo 31 – URCA, do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (<http://www.urca.br/mnpef/index.php/dissertacao-e-produtos>).

A seguir, apresentaremos o Portal Interativo de Física Moderna (Produto Educacional) e a proposta metodológica para uso deste. Finalizando com as considerações finais.

2. INTRODUÇÃO

Os métodos de abordagem dos conteúdos, ou seja, a didática utilizada muitas das vezes não tem sido eficiente em seu uso. Particularmente na área do ensino da Física, onde nessa etapa, os estudantes precisam fazer uso dos conhecimentos científicos adquiridos para entender o funcionamento das máquinas, da tecnologia e do processo de transformação da sociedade que o rodeia. No entanto nos barramos em diversos entraves, desde a formação do profissional e suas heranças trazidas de uma educação falha até os aspectos mais comuns, atualmente como, estrutura, permanência e evasão escolar.

O que se percebe notoriamente, é a existência de um grande hiato entre teoria e prática no processo de ensino de Física das escolas públicas. E o professor sabe que o seu papel é fundamental na redução dessa diferença existente. Por muitos anos a educação tecnicista predominou, a reprodução dos conteúdos e a memorização de textos, fórmulas, conceitos, leis e algoritmos. Muito também se deve ao fato do docente precisar conciliar uma carga horária excessiva, com uma gigantesca matriz curricular de eixos e conteúdo para o ano letivo. Muito exigido pelos cronogramas de processos seletivos para acesso ao ensino superior das universidades.

Isso vai exigir de nós, professores de Física (ciências), um resignificar-se, iniciar um processo de ruptura do ensino tradicional para a conversa com as outras disciplinas, através dos projetos interdisciplinares e transdisciplinares. É preciso dialogar com as demais áreas do conhecimento afim de propor uma aula cada mais vez mais próxima da realidade que os cercam. Sendo assim, faz-se necessário a demanda por novas metodologias ensino, que valorizem ainda mais o convívio e integração social aos envolvidos.

Pretende-se, através deste manual instrucional e da aplicação do produto educacional a que se refere, abordar conceitos e aplicação da Física Moderna, ora tão distante de ser trabalhado no ensino médio, mas em especial o efeito fotoelétrico que rendeu a Albert Einstein, anos mais tarde, o prêmio Nobel e uma expressiva relevância no mundo da ciência. Eis uma proposta que complementa a pesquisa e a produção científica, demandada pelo MNPEF – Mestrado Profissional no Ensino da Física, em seu Polo 31 (Universidade Regional do Cariri).

E é nesse intento que se faz necessária a experimentação, embora que virtualmente, como comprovação científica do fenômeno físico, no tocante a Física, fazendo uso da Sequência Fedathi como metodologia de ensino, que venham auxiliar a resolução de exercícios em sala de

aula ou de procedimentos demandados. A Sequência Fedathi pode significar muito, pois valoriza o planejamento, a aprendizagem significativa e o contexto em que os aprendizes estão inseridos (SOARES in BORGES NETO, 2018). De autoria do Prof. Hermínio Borges Neto (FACED/UFC), a Sequência Fedathi foi desenvolvida para auxiliar seus alunos de Matemática, na resolução de problemas, sendo dividida em quatro (04) fases assim conhecidas:

Na **Tomada de Posição**, o professor vai além de citar o tema da aula, ele pode investigar o que os alunos já trazem de bagagem cultural (*plateau*), e apresenta situações problematizadoras com vistas à sua mediação.

Na **Maturação**, o professor possibilita que os alunos desenvolvam a prática investigativa, tracem hipóteses a partir do debruçamento do tema, intervindo quando necessário ou solicitado, a partir de contraexemplos.

Durante a **solução**, espera-se que a colaboração seja o instrumento chave para o alcance dos objetivos, sem deixar de notar que o erro é passível de existir, sendo uma porta para a reformulação de conceitos.

Na **Prova**, espera-se sistematizar os conceitos, as conclusões afins de tomar novas posições a partir do que foi gerado na discussão, e ainda possibilita a reorganização das novas sessões (ações), conforme o trazido pelos alunos, ampliando as considerações propostas nas etapas anteriores.

Pretende-se, portanto, fazer uso de simuladores interativos do Projeto Virtual PhET para as demonstrações. Será feito uso da sequência de ensino supracitada, para investigar eventuais potenciais didático-pedagógico dessas ferramentas nas aulas de Física, sendo os alunos, os agentes ativos desse processo de ensino-aprendizagem.

Nas seções seguintes trataremos uma apresentação, descrição e detalhamento do Produto Educacional (Portal Interativo de Física Moderna), bem como nossa proposta metodológica para uso do site em sala de aula, ou seja, como de fato o educador pode fazer do nosso material para enriquecer sua prática futura. Por fim, teceremos nossas considerações finais de tal produto e sua base bibliográfica que fomentaram vossa utilização.

Serão apresentados toda a aplicação e instrução do uso produto educacional, demandada para tal intervenção, o que foi proposta para ser executado à luz da Sequência Fedathi, pois se trata de um Portal Interativo de Física Moderna. Nele consta desde biografias de grandes nomes da época, como também textos de fundamentação teórica, e um espaço de simulação virtual de diversos fenômenos (QuantumLab).

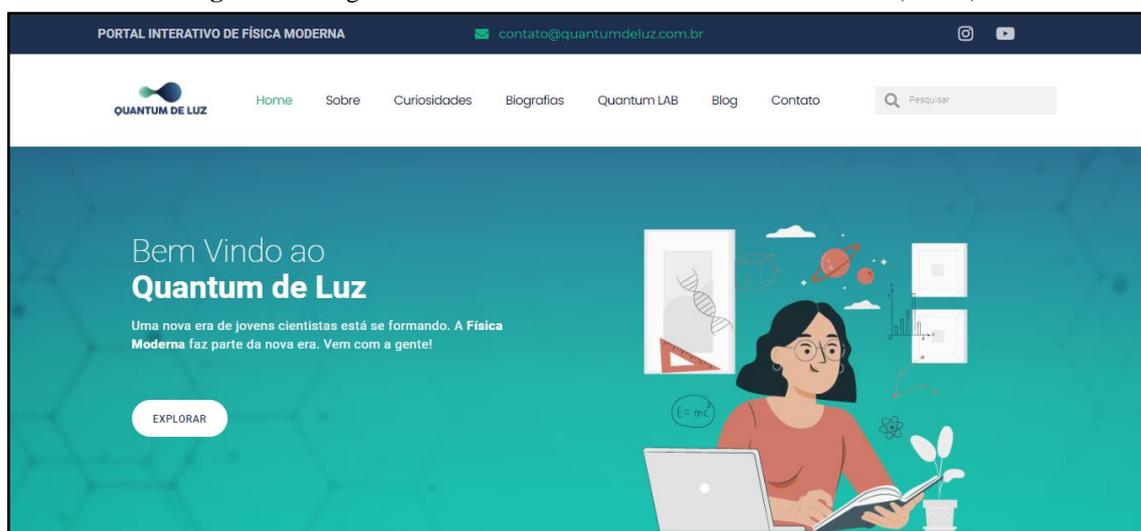
3. PORTAL INTERATIVO DE FÍSICA MODERNA

Em conjunto com o trabalho de pesquisa, foi desenvolvido um produto educacional, por sinal muito atrativo ao público jovem, bem como, altamente oportuno para o momento de sua aplicação. O Portal Interativo de Física Moderna (Disponível em: < <https://quantumdeluz.com.br/>>) veio somar a intervenção, no intuito de validação da Metodologia Fedathi então utilizada. A princípio havíamos pensado na hipótese de construção do experimento físico em si, listando desde os materiais adquiridos e do processo de construção, obedecendo as diversas variáveis que incorrem no seu sucesso ou fracasso.

Com o isolamento social, proporcionado pelo fechamento das escolas, comércio e indústria, foi ficando inviável sua construção e em seguida, partimos para a verificação do fenômeno estudado, agora fazendo uso de simuladores interativos virtuais da plataforma PhET da Universidade do Colorado (EUA), incorporando ao Portal Interativo de Física Moderna, a fim de aproximar os agentes ativos do processo de ensino da Física Moderna – os alunos.

Por conseguinte, esperou-se agregar todos esses valores na interação desse site de pesquisa e simulação, a ponto de socializar a um maior número possível de estudantes no Pernambuco e quiçá no Brasil. Nele consta de textos de fundamentação teórica – numa página denominada *Curiosidades*, breve *Biografia* dos principais nomes e contribuintes da Física Moderna, links de acesso e reporte a simuladores (PhET), desafios, sugestão de leituras e sites para pesquisa e aprofundamento. Na Figura 3.1, acompanhe uma visão geral do portal.

Figura 3.1: Página Inicial do Portal Interativo de Física Moderna (Home)

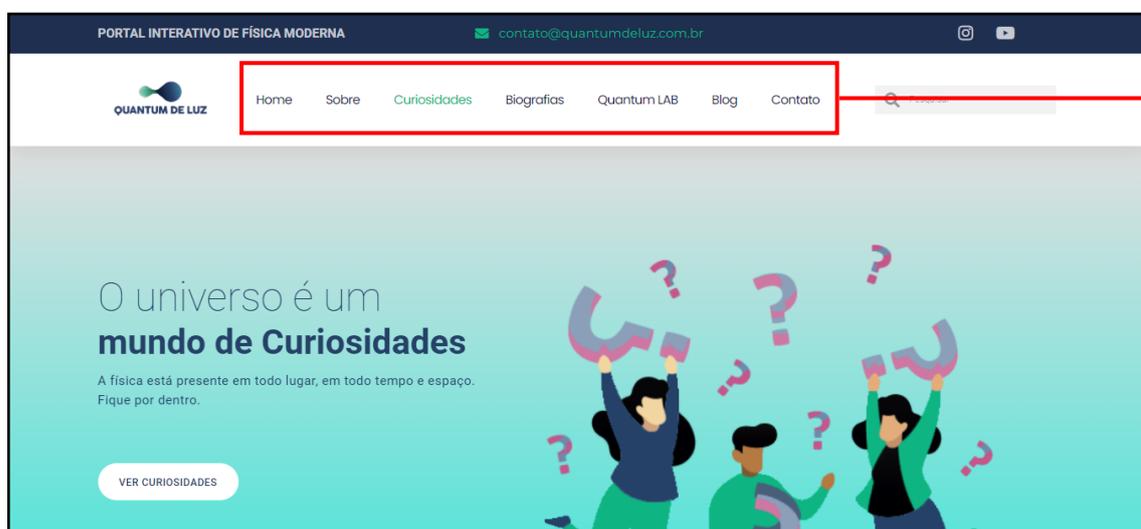


Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br> >

O Portal conta com uma logomarca *Quantum de Luz*, associada ao conteúdo apresentado, pois faz referência a quantização da luz em pacotes inteiros de energia. Ainda sobre a página inicial, temos a ilustração de uma jovem feminina, fazendo alusão ao papel importante da mulher na Ciência e do meu respeito e motivação particular para essa crescente evolução. Diante da página citada (*home*), cada usuário pode acessar na barra de tarefas, qualquer um dos serviços ofertados (Curiosidades, Biografias, Quantum Lab, Blog e outros). A página *Sobre* traz informações sobre o autor, ou seja, uma breve autobiografia, um pequeno memorial de trabalho, e as parcerias conseguidas nesse caminho. Na página *Contato*, o usuário pode deixar sua mensagem, dúvida ou sugestão para apreciação do administrador do portal, afinal essa ferramenta visa proporcionar uma maior interação entre o autor e o público, no que concerne a temática Física Moderna.

Na Figura 3.2 que segue, temos uma visão geral da página Curiosidades.

Figura 3.2: Página Curiosidades do Portal Interativo de Física Moderna



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/curiosidades/> >

Nessa página mencionada anteriormente, encontramos todos os textos de fundamentação teórica, artigos de curiosidades, populares e científicos, a propósito os que foram utilizados na intervenção pedagógica, que serviu de embasamento teórico para os estudantes chegarem aos seus constructos. Diversos artigos são encontrados nesse ambiente, muitas curiosidades da física quântica, assunto recentes de descoberta nacional e internacional. Ele serve de fundamentação teórica para inúmeros temas. Veja a seguir, na Figura 3.3 um registro da página que discutimos.

Figura 3.3: Página Curiosidades do Portal Interativo de Física Moderna (Acesso aos textos)



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/curiosidades/> >

Nesse espaço, os usuários terão acesso as biografias de diversas personalidades que fizeram história em suas épocas. Ao clicar em Acessar Biografia, o internauta é encaminhado a uma outra página, contendo o histórico pessoal, acadêmico e profissional do respectivo teórico. Lembrando que aqui constam apenas alguns dos principais nomes, mas aos poucos o portal pode ir sendo atualizado, a propósito a pedido do internauta, para endossar ainda mais essa galeria de grandes físico-químicos.

Nas aulas que antecedem cada assunto ou tópico, o professor pode antes mesmo de abordar o conteúdo, convidar o estudante a fazer sua leitura e ter um conhecimento prévio do pensador (cientista) a que se refere. Que por sinal, serviu de motivação para a construção de tal conteúdo digital. Encontrar num mesmo ambiente, teoria, experimentação e contexto histórico, pra mim enquanto professor, sempre foi um desafio. Acompanhe na Figura 3.4 a seguir, evidências dessa página.

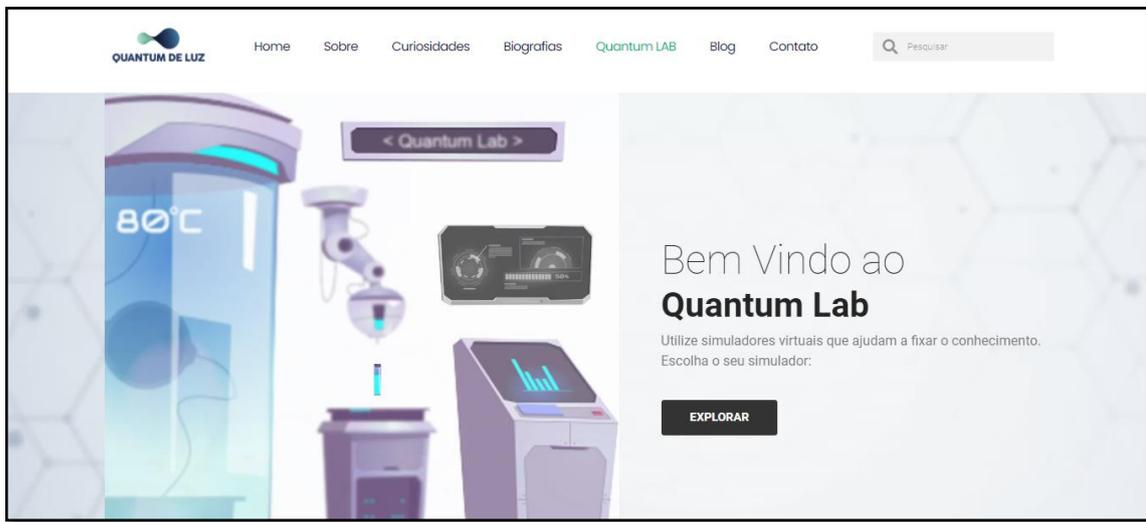
Figura 3.4: Página Biografia do Portal Interativo de Física Moderna



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/biografias> >

A seguir temos um espaço bastante interativo, que servirá de verificação experimental para diversos fenômenos da Física Quântica, embora que virtualmente. Na página *Quantum Lab*, encontramos alguns dos principais experimentos que fomentaram as discussões no final do século XIX. Na figura 3.5 que segue, encontramos uma visão geral da página. Daremos um enfoque especial no experimento que aplicamos na intervenção (Efeito Fotoelétrico), mas os demais servem de comprovação experimental para diversos fenômenos do assunto em questão.

Figura 3.5: Página *Quantum Lab* do Portal Interativo de Física Moderna (Acesso aos experimentos)



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

Ao acessá-la, o portal nos oferece um leque de opções, para verificação experimental de alguns dos principais fenômenos que norteiam a Física Quântica. Dentre eles, conseguimos aqui expor alguns. Acompanhe na Figura 3.6, evidências do experimento N. 01 (Efeito Fotoelétrico). No capítulo seguinte, da metodologia aplicada, daremos ênfase a esse simulador, fundamental ao estudo e pesquisa aqui apresentado.

Figura 3.6: Página *Quantum Lab* (Experimento N. 01 – Efeito Fotoelétrico)

QUANTUM DE LUZ Home Sobre Curiosidades Biografias Quantum LAB Blog Contato

#Experimento 1:
Efeito Fotoelétrico

Teoria:

- Luz
- Mecânica Quântica
- Fótons

Descrição:

Veja como a luz bate em elétrons de um alvo metálico, e recree a experiência que deu origem ao campo da mecânica quântica.

Alguns Objetivos de Aprendizagem:

- Visualizar e descrever a experiência do efeito fotoelétrico.
- Prever corretamente os resultados de experimentos sobre o efeito fotoelétrico, tais como: como mudar a intensidade da luz afetará a corrente e a energia dos elétrons, como a alteração do comprimento de onda da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como mudar a voltagem da luz irá afetar a corrente e a energia dos elétrons, como a alteração do material do alvo afetará a corrente e a energia dos elétrons.
- Descrever como esses resultados nos levam ao modelo de fóton de luz (por exemplo: argumentar que apenas um modelo de fóton de luz pode explicar por que, quando a luz está brilhando sobre o metal, mas não há corrente, aumentando a frequência levará a uma corrente, mas aumentando a intensidade da luz ou a tensão entre as placas não).

Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

O experimento N. 02, denominado *Espectro do corpo negro*, podemos descrever o que acontece com o espectro do corpo negro à medida que aumenta ou diminui a temperatura. É possível observar o comportamento gráfico espectral (curva) de alguns corpos como a Terra, uma lâmpada a estrela Sirius e o Sol. Bem como sua relação entre temperatura e o comprimento de onda de pico. Por trás da simulação dá para trabalhar a Lei de Planck e a Lei de Wien. Veja a Figura 3.7 a seguir sobre o experimento.

Figura 3.7: Página *Quantum Lab* (Experimento N. 02 – Espectro do Corpo Negro)

QUANTUM DE LUZ Home Sobre Curiosidades Biografias Quantum LAB Blog Contato

#Experimento 2:
Espectro do Corpo Negro

Teoria:

- Corpo Negro
- Lei de Planck
- Lei de Wien

Descrição:

Como o espectro do corpo negro do sol se compara à luz visível? Aprenda sobre o espectro de corpo negro da Sirius A, do Sol, de uma lâmpada e da Terra. Ajuste a temperatura para ver o comprimento de onda e a intensidade da mudança do espectro. Veja a cor do pico da curva espectral.

Alguns Objetivos de Aprendizagem:

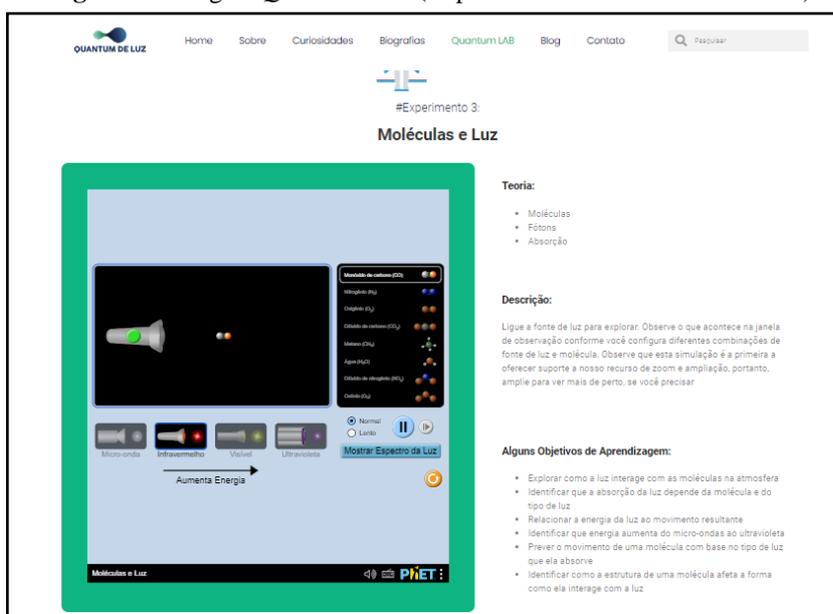
- Descrever o que acontece com o espectro de corpo negro à medida que aumenta ou diminui a temperatura. O que acontece com a forma da curva e o pico desta curva?
- Descrever o espectro de corpo negro de uma lâmpada. Por que as lâmpadas ficam quentes? Elas parecem eficientes?
- Imagine que você veja dois objetos quentes e brilhantes – um está brilhando em laranja e o outro está brilhando em azul. Qual deles é mais quente?
- Encontrar a relação entre a temperatura e o comprimento de onda no pico da curva.

Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

No experimento N. 03, denominado de *Moléculas e Luz*, explora como a luz interage com as moléculas da atmosfera, além de identificar que o fator absorção de luz depende da molécula e do tipo de luz sobre ela emitida. Além de prever o movimento resultante de uma molécula pelo tipo de luz que ela absorve, ainda mostra que a estrutura molecular pode afetar a forma com a luz interage com ela.

Por fim, vimos ainda que essa simulação consegue ainda fornecer o recurso zoom e ampliação, para se ter uma ideia da configuração microscópica do movimento gerado. Acompanhe na Figura 3.8 a seguir uma visão preliminar no experimento.

Figura 3.8: Página *Quantum Lab* (Experimento 03 – Moléculas e Luz)

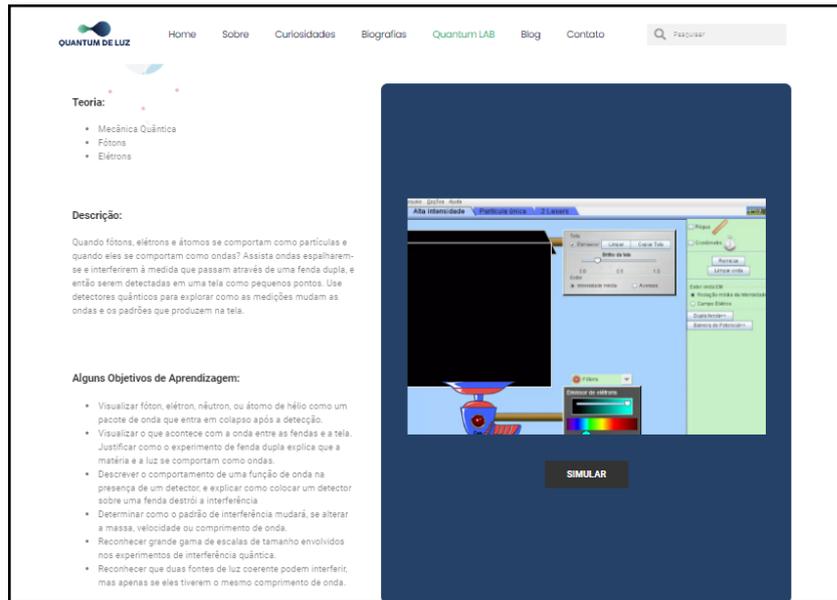


Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

No que concerne o experimento N. 04, intitulado por *Interferência Quântica*, o aluno bem como o educador, pode visualizar como as partículas subatômicas entram em colapso após sua detecção. Medidores quânticos podem interferir nessas medidas, que por sinal, em alguns momentos vemos a matéria e a luz se comportando como onda. Reconhece ainda que determinadas variáveis quando oscilam mudam seu padrão de interferência, como é o caso das variáveis velocidade, massa ou comprimento de onda.

Enfim, é um excelente simulador para verificar essas representações. Confira na Figura 3.9 que segue, uma visão geral dele.

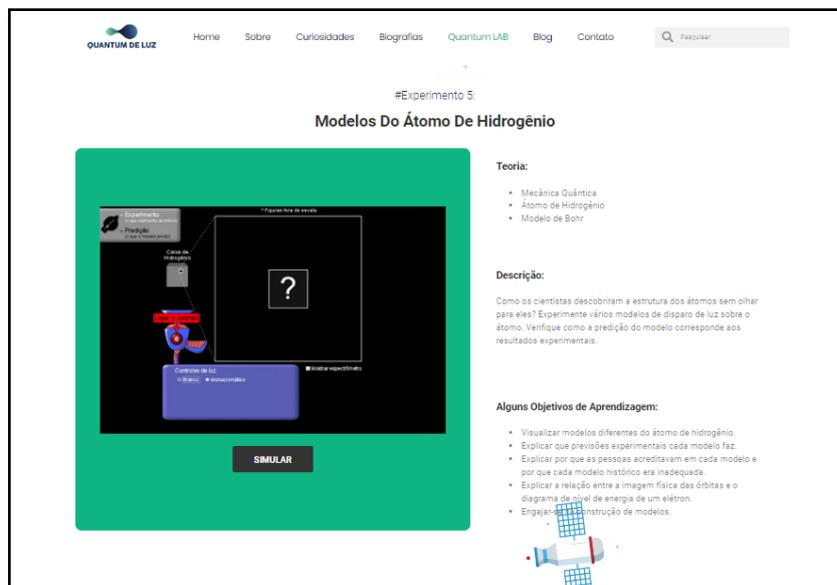
Figura 3.9: Página *Quantum Lab* (Experimento 04 – Interferência Quântica)



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

E no último experimento, o N. 05, denominado de *Modelos do Átomo de Hidrogênio*, podemos conferir como os cientistas descobriram a estrutura dos átomos. Vemos como a predição dos modelos correspondem aos resultados experimentais. Através desse simulador observamos também a explicação entre a imagem física das órbitas e o diagrama de nível de energia de um elétron. Perceba numa visão geral dessas funcionalidades na Figura 3.10.

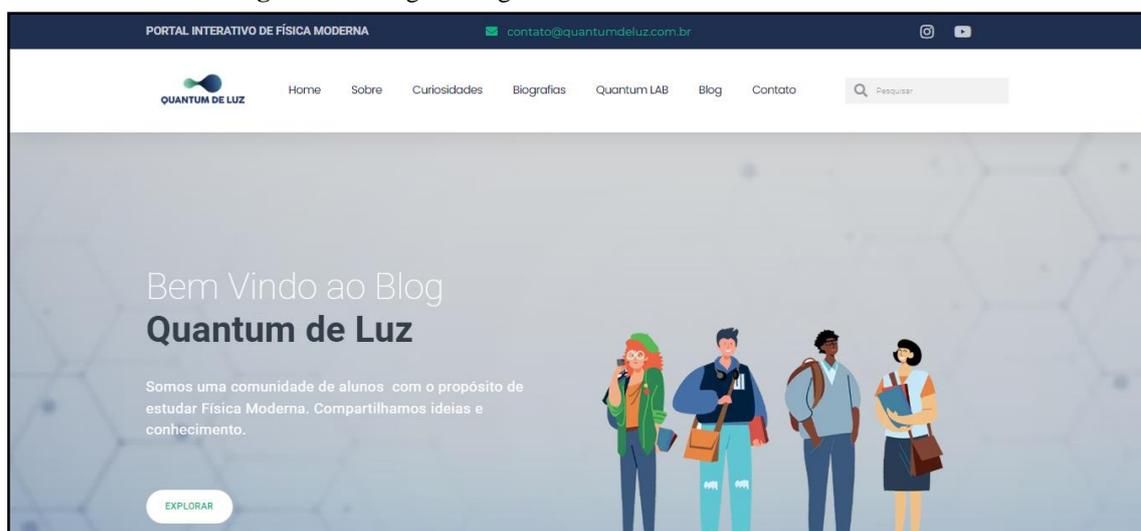
Figura 3.10: Página *Quantum Lab* (Experimento 05 – Modelos do Átomo de Hidrogênio)



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/quantum-lab/> >

Na página *Blog*, o educando é convidado a integrar uma grande comunidade, que vem se formando a 02 anos. Fomentando estudos, reflexão e curiosidades. Os participantes são motivados a ler e escrever sua opinião sobre os temas abordados. Uma oportunidade ímpar de socialização e saberes, ainda mais de um tema tão recorrente ao mundo contemporâneo, porém de pouca pesquisa e divulgação científica, pelo menos aqui no Brasil. Segue a Figura 3.11 da página supracitada.

Figura 3.11: Página Blog do Portal Interativo de Física Moderna



Fonte: Disponível em < <https://quantumdeluz.com.br/blog-quantum-de-luz/> >

O Produto Educacional é o resultado material da pesquisa elaborada ao longo do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, e representa todo o empenho e dedicação em apresentar uma ferramenta didática e um material de apoio, para outros professores de Física que atuam na educação básica.

Dessa forma o Portal Interativo de Física Moderna e este Material Instrucional, à luz da Metodologia Fedathi, foi o nosso diferencial, pois reunimos elementos suficientes para o ensino da Física Moderna, em especial do Efeito Fotoelétrico em sala de aula, ainda que no ensino remoto.

A seguir descrevemos os resultados revelados do processo de intervenção e aplicação do Produto Educacional. Destacamos o acesso e difusão dos textos de fundamentação teórica, bem como do uso de simuladores virtuais PhET, incorporados ao Portal Interativo. Discutimos os resultados das respostas dadas às situações-problemas, e por fim, formulamos um modelo geral.

4. PROPOSTA METODOLÓGICA PARA USO DO PRODUTO EDUCACIONAL

De longe que assuntos como Astronomia e Física Moderna despertam a curiosidade dos alunos do ensino médio, em especial nossa educação básica de escola pública, percebemos a carência do ensino da Física Moderna, bem como do entendimento de diversos fenômenos correlatos que os cercam, embora seja contemplado pela proposta curricular dos estados, porém dificilmente é visto pelos discentes. Seja por carga horária não cumprida, seja com inoportunidade de professores aptos a lecionar tal conteúdo.

Discorreremos agora sobre a descrição dos encontros que podem fazer uso do Portal Interativo, bem como da metodologia utilizada, dos comportamentos e reflexões a serem observadas, simuladas e registradas ao longo da intervenção pedagógica, bem como a análise dos resultados a partir das construções dos próprios alunos.

De caráter sugestivo, apresenta-se a sequência das atividades durante a intervenção pedagógica, com as respectivas durações, acessos e uso do Produto Educacional. Ressalte-se que a carga horária total de intervenção para essa metodologia é de 12 horas.

Na Tabela 4.1, encontramos uma proposta de aplicação de intervenção pedagógica.

Tabela 4.1: Tabela-resumo dos encontros da intervenção pedagógica

Encontros	Assunto	Ferramentas
01	Teste de sondagem sobre Luz (Explicação sobre a ementa da disciplina eletiva)	Questionário e apresentação oral
02	Cor	Simulador Virtual PhET, Vascak
03	Reflexão, refração, difração e interferência	Slides
04	Teste de sondagem sobre Física Atômica (teste que antecede a aplicação da Metodologia Fedathi)	Questionário e apresentação oral
05	Emissão de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
06	Os quanta de Luz	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
07	Efeito Fotoelétrico	Sequência Fedathi e o Produto Educacional
08	Avaliação de satisfação da metodologia empregada	Entrevista coletiva

Fonte: Próprio autor

Espera-se que ao final das etapas da intervenção, os alunos possam responder questionários com questões objetivas e subjetivas, para que opinem a respeito da dinâmica do processo de intervenção e das ferramentas de ensino utilizadas para o ensino de Física Moderna, em especial do efeito fotoelétrico.

A aplicação da sequência Fedathi, aliada ao Portal Interativo, pode ser seguido ao longo das aulas, conforme descrição abaixo.

No primeiro encontro da eletiva Física Quântica e, conseqüentemente, da intervenção pedagógica, virá a necessidade da apresentação da ementa da disciplina. A partir de então deve ser exposto aos alunos quais caminhos seguiremos, o que se pretende alcançar com os objetivos traçados, e principalmente pelo fato da aplicação da Metodologia Fedathi, o que se espera mensurar qualitativamente, é avanços no processo de ensino-aprendizagem.

Utilizando um ambiente virtual (Google Meet) para fazer os encontros da intervenção pedagógica, a princípio num âmbito coletivo e, no decorrer dos encontros, em salas virtuais privadas, destinadas ao grupo específico de alunos. Portanto, durante as aulas, deve-se utilizar diversos materiais (textos, simuladores virtuais e questionários) ora disponibilizados pelo professor na tela de compartilhamento, ora publicado no site (produto educacional).

Nesse primeiro encontro, os alunos são convidados a participar de um Teste de Sondagem, que consiste em verificar o grau de conhecimento sobre a luz, seus principais fenômenos como reflexão, refração, difração, interferência, seja pelo aspecto óptico, seja pelo aspecto ondulatório. Após um dado tempo, os resultados devem ser consolidados e trabalhados com todos, de maneira sistematizada e ponderada pelo professor.

No segundo encontro, recorre-se mais uma vez ao ambiente virtual (Google Meet), para formar nossa sala aula e então propor as ações coletivas ao grupo que se espera receber no dia. O objetivo do encontro é explorar o uso dos simuladores virtuais PhET e Vascak para estudar cor e frequência, ou seja, o quanto estaríamos ou não, familiarizados com a luz e a sua radiação eletromagnética visível.

Pode ser um encontro memorável, uma vez que se discute sobre a decomposição da luz e o que se entende por cor e sua configuração espectral. Uma boa oportunidade para abordar a princípio, a famosa experiência realizada por Isaac Newton, conseguindo decompor a luz branca através de um prisma, demonstrando que esta é formada por uma mistura de cores. Quanto a visibilidade dos objetos, observa-se as propriedades químicas e físicas que fazem com que absorvam certos comprimentos de onda e reflitam outros comprimentos de onda, os quais chegam a nossos olhos e estimulam os cones, sensíveis às cores.

No terceiro encontro pode-se fazer uso de aula expositiva (slides) para reforçar conceitos sobre os fenômenos de reflexão, refração, difração e interferência da luz, retomando conceitos que foram abordados desde a Óptica Geométrica quanto na Ondulatória. Essas ações são fundamentais para nivelar os conhecimentos dos nossos alunos nesse início de intervenção.

No quarto encontro, definido em noventa (90) minutos, é preciso verificar o quanto já foi avançado em compreensão, por parte dos alunos, por isso a proposta é aplicar um novo teste de sondagem, para sabermos a familiaridade dos estudantes com o conteúdo: “comportamento da luz”, seja no âmbito corpuscular, seja no âmbito ondulatório. Como se dá a emissão de luz, ou ainda, a absorção de energia quando um elétron é excitado? Se já ouviram falar sobre fótons, pacotes de energia, e qual sua estreita relação com os fenômenos que integram a Física Moderna? Em quais condições a matéria (átomo) poderia emitir ou absorver energia, dada sua configuração eletrônica bem como, se a movimentação do elétron é determinante ao *quantum* de luz?

Em seguida, logo após a apreciação das respostas apresentadas pelos estudantes. O professor precisa fazer algumas ponderações, em especial àquelas que fugirem dos conceitos e abordagens reais ao assunto. Por fim, esse teste serve de direcionamento para as próximas ações, no que tange a aplicação da Metodologia Fedathi e a aplicação de nosso Produto Educacional, para o estudo de tópicos de Física Moderna.

No quinto encontro, inicia-se com todos os alunos, a aplicação da Sequência Fedathi, dando-lhes as seguintes instruções: Formar as equipes para ler e refletir sobre o texto: *As luzes da cidade* (Disponível no Produto Educacional) no intuito de embasar suas respostas para as situações-problemas propostas a seguir. Sendo elas: *a) Como se dá o acendimento automático dos postes de energia elétrica das cidades? b) Existe alguma explicação científica por trás dessa automação? c) O funcionamento automático de portões, alarmes ou controle remoto é explicado pelo mesmo fenômeno, dos itens anteriores?* Então, as equipes se reúnem, debatem e analisam os problemas em busca de solucioná-los. Em seguida, cada grupo deve apresentar para a turma o que foi discutido e quais seriam as suas respostas para as situações-problemas apresentadas. Ao final de cada apresentação, discutem-se as respostas junto a toda a turma, como forma de buscar contribuições e melhorar os conceitos. Por fim, deve ser feita uma ressignificação adequada da aula, por parte do professor, com a formalização científica dos conceitos envolvidos.

No sexto encontro, aplicando a Sequência Fedathi, também de noventa (90) minutos de aula, inicia-se com a retomada das reflexões dos alunos referente ao encontro anterior. Os estudantes são convidados a mais uma vez, retomarem suas formações iniciais enquanto equipe

para assumir um novo desafio. Novas situações-problemas, em sintonia com nossa pesquisa, avaliará os avanços do processo ensino-aprendizagem por meio da Metodologia Fedathi.

Os alunos recebem as instruções ainda no ambiente coletivo, ou seja, no link geral do encontro (via *streaming*) e logo mais migraram para um link alternativo, gerado para o uso das salas temáticas, a exemplo do encontro anterior. Dessa forma viabiliza a comunicação interna dos integrantes da equipe, com a supervisão do professor, sem a influência dos demais alunos ou grupos. Constitui as instruções, a leitura do texto-base, disponível no Portal Interativo (*Como são ligadas as luzes públicas*), a fim de auxiliar em suas conclusões. As situações problemas são: a) *É possível, no caso do acendimento automático dos postes, eles acenderem a qualquer momento ou horário, mesmo em dias chuvosos?* b) *Ou seja, sem a emissão da luz oriunda do sol, é possível ainda assim acionar automaticamente as luzes dos postes?* c) *E em dias quentes, o fenômeno se evidencia?*

Em seguida, as discussões internas iniciam-se a possibilidade de surgimento de dúvidas, onde deve ser mediada pelo professor, instigando neles outras perguntas para que as mesmas possam ser respondidas pelos próprios estudantes, questionamentos que motivam, esclarecem ou desafiam novas concepções. Logo após, os grupos apresentam para toda a turma as respostas encontradas como solução para os questionamentos.

Por fim, o professor pode expor as respostas dos grupos para o fechamento, ajustando e confirmando as respostas propostas e apresentadas, finalizando com uma reflexão acerca de fenômenos ou dispositivos que funcionem, em situações semelhantes ao que havia sido proposto na situação-problema acima, a exemplo da abertura de portões, alarmes, o funcionamento de células fotovoltaicas presentes nas calculadoras, residências etc.

Evoca-se os textos de fundamentação teórica que aborda sobre a conceituação da cinética do elétron e seus desdobramentos para formas de emissão de luz (fóton), em especial (excitação, relaxação, incandescência, fluorescência e fosforescência), apresentados através do Produto Educacional (Portal) para referendar se o fator clima interfere nesse processo.

No penúltimo encontro a exemplo dos anteriores, é requisitado aos estudantes assumirem as mesmas posições que o fizeram nos últimos encontros, na formação das equipes, para dar sequência a mais uma problematização. Assim sendo, apresenta-se as seguintes situações problemas: a) *No caso do acendimento automático dos postes, é possível alterar a intensidade luminosa, ou seja, quando o Sol parar de emitir luz os postes vão poder apresentar mais ou menos brilho?* b) *Qual o nome do fenômeno físico que está relacionado ao problema?* c) *A frequência da luz emitida, caso fosse possível substituir o sol nesse processo, alteraria a luminosidade?* A princípio, os alunos devem buscar investigar as variáveis que envolviam o

processo, ali apresentado, pelo simulador PhET, incorporado ao produto educacional. Com isso, os estudantes devem fazer as suas observações dentro dos grupos, buscando responder às situações apresentadas. Em seguida, os grupos devem apresentar o que foi debatido, simulado e discutido internamente para toda a turma. O professor deve incentivar sempre nessa fase que os demais estudantes intervenham nas respostas de modo a complementar algo nas soluções propostas.

Por fim, após a apresentação dos resultados alcançados pelos estudantes, deve ser feita uma sistematização dos resultados obtidos e discutido com toda a turma sobre esses resultados, apresentando-se, em seguida, culminando e alinhando os pontos que convergem para a resposta correta do problema, a ponto de evoluir, junto aos alunos, com as construções que eles apresentarão e que não foram suficientemente coerentes. É nesse intento, que devemos verificar se a Tomada de Posição foi ressignificada, ou seja, se houve avanços no tocante a busca pela solução daquela situação-problema. Para isso, usa-se o simulador PhET da Universidade do Colorado (EUA), plataforma disponível gratuitamente para livre acesso, incorporado (embutido) ao Produto Educacional (Portal).

E finalmente, no oitavo e último encontro, com duração de uma hora e meia, deve ser destinado à avaliação do conteúdo trabalhado. A avaliação é sempre um ponto de partida, nunca uma chegada, ainda mais que a pesquisa é de âmbito qualitativo. Dessa forma, o objetivo da avaliação é de mensurar a aprendizagem dos estudantes, coletando a opinião destes acerca do conteúdo, da metodologia aplicada e do produto educacional gerado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta sempre foi o ensino da Física Moderna, em especial do Efeito Fotoelétrico a partir da experimentação, ainda que através de simuladores virtuais, fazendo uso da sequência de ensino fedathiana. Em consonância foi então desenvolvido o Portal Interativo de Física Moderna, o nosso produto educacional. Nele os alunos foram levados a pesquisar, ler, refletir e simular através dos recursos disponíveis e sequenciados pela estrutura lógica, tendo em vista as etapas da Sequência Fedathi: Tomada de Posição, Maturação, Solução e Prova.

Constatamos que a utilização do produto educacional (Portal Interativo) foi peça fundamental da intervenção pedagógica, haja vista que o momento atual não propiciava outras opções de uso. Como o que disponibilizávamos eram os recursos de internet, aulas síncronas e simuladores virtuais (PhET Simulations – incorporado ao Portal). Dessa forma nosso produto dialogou perfeitamente com essa prática.

Um dado importante a ser considerado é que toda a intervenção pedagógica se deu em ambiente virtual, fazendo uso das tecnologias digitais de ensino, em especial das plataformas de streaming (Google Meet). Os comandos e seus desdobramentos só foi possível graças a esse recurso, que foi potencializado a partir da necessidade de isolamento social imposto pela Covid-19. Os desafios surgiram, em alguns momentos impossibilitarão o encontro para alguns estudantes, mas não causaram desânimo na turma, pois tratava-se de um assunto de interesse dos próprios.

O Ensino da Física Moderna, assim como toda a ciência, para se tornar ainda mais atraente e acessível, sempre demandou inovações tecnológicas, pois estas aproximam o público com os conteúdos abordados. A escolha desse tipo de produto educacional não foi em vão, tentamos aliar interatividade com conteúdo, leitura e simulação a todo aquele que o procurar acessar. O crescente interesse e curiosidade por temas nessa linha precisam continuar. Vimos que aliado ao Portal tínhamos uma Metodologia Fedathi que foi eficiente e nos acende uma alerta. É preciso provocar ainda mais mudanças no comportamento e prática do docente dentro da sala de aula, pois essa ferramenta é altamente promissora no caminho de uma aprendizagem significativa. Esperamos que o Portal continue sendo interativo a outros educadores e educandos de física de todo o nosso país, não só para o ensino do Efeito Fotoelétrico, mas para a difusão do estudo da física moderna e contemporânea.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Viviane Silva de. *A Sequência Fedathi e o ambiente Virtual de Ensino Telemeios na determinação na equação da reta*. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ARAÚJO, F. V. ; NOBRE, F. A. S. ; JUNIOR, J. A. A. ; DANTAS, C. R. S. *Uma Aplicação do Software Educacional PhET Como Ferramenta Didática no Ensino da Eletricidade, INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO: teoria & prática*. Porto Alegre, v. 18, n. 2, jul./dez. 2015.

BORDANAVE, I. *Estratégias de aprendizagem*. São Paulo: Vozes, 1993.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: Além das ciências duras*. Vol. 02 - Curitiba. CRV, 2017.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: interfaces com o pensamento pedagógico*. Vol. 04 - Curitiba. CRV, 2019.

BORGES NETO, H. (et all). *Sequência FEDATHI - Uma proposta pedagógica para o ensino de ciências e matemática*. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

BORGES NETO, H. (org). *Sequência Fedathi: Fundamentos*. Vol. 03 - Curitiba. CRV, 2018.

EISBERG, Robert & RESNICK, Robert. *QUANTUM PHYSICS, of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles*. JOI-IN WILEY & SONS, New York, 1974.

FERRARO, Nicolau Gilberto & SOARES, Paulo Toledo. *Física Básica*. Volume Único, 4º reimpressão, São Paulo, Editora Atual, 1998.

FERRARO, Nicolau Gilberto; PENTEADO, Paulo César; SOARES, Paulo Toledo; TORRES, Carlos Magno. *Física Ciência e Tecnologia*. Volume Único, Editora Moderna, 2001

GASPAR, Aberto. *Física: Eletromagnetismo e Física Moderna*. São Paulo, Editora Ática, 2000.

GILMORE, Robert. *Alice no País do Quantum*. Trad. André Penido. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor, 1998.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert and KRANE, Kenneth S. *Física 4*. 4ª Edição, 1992.

HEWITT, P. G. *física conceitual*. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MINAYO, M. C. S. (Org.). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2001.

MEDEIROS A.; MEDEIROS, C. F. *Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física*. Revista Brasileira de Ensino de Física, Porto Alegre/RS, v. 24, n. 2, p. 79, 2002.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de física básica, 4: ótica, relatividade, física quântica*. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2014.

SOARES, T. A. *A Contribuição da Sequência de Ensino FEDATHI no Processo de Ensino e Aprendizagem em Física*. 2016. 84f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Regional do Cariri – URCA, Juazeiro do Norte, 2016.

SOUZA, M.J.A. *Aplicações da sequência FEDATHI no ensino e aprendizagem da geometria mediado por tecnologias digitais*. Fortaleza.f.230 [Tese(Doutorado)]. Curso de Pós Graduação em Educação. Faculdade de Educação, Universidade Federal do Ceará, 2010.

OREAR, Jay. *Física*. Trad. Ivan Cunha Nascimento e José Roberto Moreira. Rio de Janeiro, LTC, 1971.

PCN's (MEC / SEMTEC, 2002).

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. *Física. 6ª edição (reformulada)*. São Paulo, Editora Ática, 2003.

TIPLER, Paul A. *Física. Trad. Ronaldo Sérgio de Biasi*. 4. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2000.

YOUNG, Hugh D. *Fundamentals of Optics and Modern Physics*. McGraw-Hill Book Company, 1968.



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

