

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

RICARDO NAVES RANZATTI

**FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO DO
EFEITO FOTOELÉTRICO SEGUNDO O ENSINO HÍBRIDO**

UBERLÂNDIA

2022

RICARDO NAVES RANZATTI

**FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO DO
EFEITO FOTOELÉTRICO SEGUNDO O ENSINO HÍBRIDO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Mieko Odashima

UBERLÂNDIA

2022

RICARDO NAVES RANZATTI

**FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO DO
EFEITO FOTOELÉTRICO SEGUNDO O ENSINO HÍBRIDO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientadora: Profa. Dra. Mariana Mieko Odashima

Banca examinadora

Profa. Dra. Mariana Mieko Odashima – INFIS/UFU

Profa. Dra. Liliana Sanz De La Torre – INFIS/UFU

Prof. Dr. José Roberto Tozoni – INFIS/UFU

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo seu amor e misericórdia derramada em minha vida, me dando força e capacidade dos momentos difíceis e coragem para seguir com meu objetivo de concluir esse curso.

Agradeço à minha esposa que, com seu empenho, carinho e persistência me alimentou a ideia de retornar aos estudos e concluir uma etapa pausada há alguns anos.

Aos meus filhos me apoiaram nessa jornada nada fácil. Me dando a honra de ser um exemplo de persistência na vida deles.

À minha orientadora Profa. Dra. Mariana M. Odashima, que esteve presente na minha vida acadêmica por vários semestres e me dando a honra de orientar e auxiliar no desenvolvimento desse trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia por proporcionar a oportunidade de acesso a um ensino superior com qualidade.

Ao Instituto de Física (INFIS/UFU) por oferecer um curso de graduação com docentes altamente qualificados e dedicados em formar profissionais com excelência.

Por fim, quero agradecer a todos os meus amigos, com quem divido todas as minhas alegrias e angústias nesses últimos anos de estudo na universidade, estamos concluindo uma etapa, mas a amizade perdurará por muitos anos.

RESUMO

O ensino de conceitos da Física Quântica no Ensino Médio é visto como um dos grandes entraves para estudantes e para os professores. O rompimento com inúmeras concepções da Física Clássica, o elevado rigor em alguns tratamentos matemáticos e até mesmo algumas falhas na formação inicial dos professores são alguns fatores apontados para tal observação. Além disso, diversas pesquisas apontam que o Ensino de Física tem se tornado cada vez menos interessante para os estudantes e, conseqüentemente menos significativo. Parte dessa realidade refere-se às mudanças nas relações sociais promovidas com o desenvolvimento cada vez mais dinâmico das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação mudando por consequência a forma com que os estudantes constroem o conhecimento. Entretanto, indiferente a essas mudanças, as escolas e, principalmente as aulas, na maioria das vezes estão ancoradas na mesma dinâmica de séculos atrás. É nessa direção que surge a necessidade de mudanças na forma com que se ensina. Desta maneira, esse trabalho traz uma proposta de mudança metodológica baseada nas metodologias ativas do Ensino Híbrido. Para tal, buscou-se elencar algumas possibilidades de abordagem do efeito fotoelétrico no Ensino Médio de forma a proporcionar maior protagonismo e autonomia aos estudantes durante o processo de aprendizado desses conceitos. Vale destacar que como proposta, o que se busca com esse trabalho é vislumbrar possibilidades de mudança na maneira de como se faz o Ensino de Física em termos metodológicos. Todavia, é importante frisar que a aplicabilidade prática dessa proposta requer adaptações de acordo com a realidade de cada turma, estudante, professor e escola.

Palavras-chaves: *Ensino Híbrido, Efeito fotoelétrico, Ensino de Física, Física Quântica*

ABSTRACT

The teaching of Quantum Physics concepts in High School is seen as one of the major obstacles for students and teachers. The disruption of countless conceptions of Classical Physics, the elevated rigor required in some mathematical treatments and even lacks in the initial training of teachers are some factors that contribute to such observation. In addition, several studies indicate that Physics Teaching has become less and less interesting for students and, consequently, less significant. Part of this reality refers to the changes in social relations promoted by the increasingly and dynamic development of Digital Information and Communication Technologies, which change the way in which students build their knowledge. However, far from these changes, schools, and especially lectures, are most often based on the same dynamics of centuries ago. It is along these lines that the need of a transformation in the way of teaching arises. In this sense, this work brings a proposal of a methodological change based on the active methodologies of Blended Learning. To this end, we presented some possibilities of approaching the photoelectric effect in High School to provide greater protagonism and autonomy to students during the learning process of these concepts. It is worth mentioning that what is sought with this work is to propose possibilities of changing in the way in which Physics Teaching is carried out within a methodological perspective. However, it is important to emphasize that the practical applicability of this proposal requires adaptations according to the reality of each classroom, student, teacher and school.

Keywords: *Blended Teaching, Photoelectric Effect, Physics Teaching, Quantum Physics*

SUMÁRIO

9

12

12

15

21

23

25

27

30

31

34

36

38

40

43

47

51

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Engrenagem educacional associada ao Ensino Híbrido	17
Figura 2 - Modelos de Ensino Híbrido.....	18
Figura 3 - Aparato Experimental usado por Phillip Lenard	24
Figura 4 - Representação da ejeção de elétrons pelo Efeito Fotoelétrico.....	26
Figura 5 - Diagrama de níveis de energia em isolantes, condutores e semicondutores	28
Figura 6 - Partes constituintes de um LED (Diodo Emissor de Luz).....	29
Figura 7 - Representação da junção p-n em semicondutores do tipo LED	30
Figura 8 - Resistência do LDR versus Luminosidade.....	31
Figura 9 - Sensor de luminosidade em postes de iluminação	32
Figura 10 - Fluxograma de organização da sequência didática.....	34
Figura 11 - Aparato Experimental - Sensor de Iluminação Pública.....	35
Figura 12 - Montagem dos LEDs e ligação na calculadora	40
Figura 13 - Aparato experimental da Estação 1	43
Figura 14 - Experimento "ouça seu controle remoto"	43
Figura 15 - Simulação sobre Efeito Fotoelétrico da plataforma Phet	45

1. INTRODUÇÃO

A abordagem de diversos conceitos da física no Ensino Médio e as dificuldades apresentadas pelos estudantes no aprendizado dessa disciplina, tem sido historicamente alvo de inúmeras discussões e investigações por professores e especialistas em educação. Diversas pesquisas apontam a existência de problemas no ensino e na aprendizagem de temas que vão desde a mecânica clássica até a Física Quântica (BARROSO; RUBINI; SILVA, 2018; PENA; RIBEIRO FILHO, 2008; MENEGOTTO; ROCHA FILHO, 2008).

Essas, entre outras pesquisas, apontam que diversos fatores como, por exemplo, o elevado nível de abstração necessário para o entendimento de alguns conceitos, a falta de modelos didáticos que façam relações entre os conceitos e suas aplicações práticas, dificuldades em criar situações que relacionem o estudo da física com o cotidiano dos estudantes e, até mesmo, algumas lacunas resultantes da formação dos professores, podem comprometer a abordagem e, conseqüentemente, a compreensão de conceitos físicos pelos estudantes.

É inegável que as diversas discussões e pesquisas em torno do Ensino de Física têm contribuído para que gradativamente se repense a forma com que essa disciplina é conduzida por professores e aprendida pelos estudantes no contexto escolar e para além dele. Entretanto, ainda existem muitas discussões a serem levantadas em busca de fazer com que os processos de ensino e aprendizado em física se tornem mais interessante e, principalmente, significativos para os estudantes, melhorando assim, progressivamente a relevância dos conhecimentos físicos para formação dos cidadãos.

Como apontam Valadares e Moreira (1998),

É necessário resgatar o interesse dos alunos pela Física. Cada um de nós que está ligado de uma forma ou de outra ao ensino de Física sabe que o seu estudo permite uma compreensão básica da natureza, além de desenvolver nos estudantes uma série de habilidades que podem dar vazão à sua criatividade, proporcionando prazer, alegria e desafios. (VALADARES; MOREIRA, 1998, p. 122)

Buscando contribuir com as discussões em torno das possibilidades para um Ensino de Física mais significativo, esse trabalho toma como foco o ensino de Física Moderna em nível médio, por meio da proposição de uma abordagem dos conceitos associados ao efeito-fotoelétrico utilizando metodologias ativas baseadas no Ensino Híbrido (EH).

Os tópicos associados a Física Moderna (FM) e à Mecânica Quântica (MQ) nascem de uma ruptura de paradigma dentro da própria física, modificando diversos conceitos outrora estabelecidos pela Física Clássica. Não obstante a isso, ao se depararem com os estudos sobre

FM no Ensino Médio, alunos e professores se veem diante de uma grande encruzilhada, onde torna-se necessária uma extrapolação dos conceitos da Física Clássica para novas observações e definições advindas da MQ. Tendo em vista esse grande desafio, por vezes os professores optam por fazer uma abordagem superficial da FM, tratando-a apenas a título de informação, curiosidade, ou até mesmo acabam não contemplando esse tópico no Ensino Médio.

Além disso, a formação dos professores, a infraestrutura das escolas, o reduzido número de aulas de física e a complexidade das discussões sobre Mecânica Quântica tem frequentemente sido as causas apontadas para o surgimento de dificuldades em sua abordagem (NARDI *et. al*, 2009).

Em contraponto a essa observação, Valadares e Moreira (1998) alertam que é importante que os alunos do Ensino Médio conheçam os fundamentos das tecnologias atuais, já que estes conhecimentos terão relação direta com sua vida e seu futuro profissional.

Daí a importância de se introduzir conceitos básicos de Física Moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a física da sala de aula e a física do cotidiano. [...] Com isso o estudante passa a ter uma motivação a mais, já que ele passa a ver o mundo com outros olhos (VALADARES; MOREIRA, 1998, p. 121)

Como destacam Machado e Nardi (2007), a infinidade de equipamentos e instrumentos tecnológicos cotidianos aos estudantes tem íntima relação com as descobertas e postulados da MQ. O efeito fotoelétrico, por exemplo, é um dos conceitos que pode proporcionar aos estudantes uma reflexão sobre relações entre fenômenos de natureza dual (corpúscular/ondulatória) e os diversos aparatos tecnológicos presentes no dia a dia dos estudantes, como o acendimento automático das lâmpadas dos postes, o acionamento dos televisores por meio de controle remoto e a automatização das portas dos elevadores.

Nesse contexto, assim como foi necessária uma ruptura de paradigmas científicos na consolidação da MQ, a proposição de trabalhar os conceitos destas teorias em nível médio também exige ruptura na forma de se tratar o trabalho docente, a dinâmica da sala de aula, a forma de aprendizado dos alunos e o papel da escola nesse processo. Não se pode discutir Física Quântica de forma significativa utilizando-se apenas de métodos tradicionais de ensino.

Nos últimos 30 anos, o mundo passou por profundas transformações, assim como as formas de produção e as relações humanas; contudo, o espaço escolar continua formatado para atender às demandas de uma sociedade que não existe mais (SANTOS, 2015).

Como possibilidade de mudar esse panorama e fazer com que a abordagem da MQ no Ensino Médio se torne relevante para os estudantes é necessária uma reformulação na forma com que se faz o Ensino de Física, principalmente no que se refere aos aspectos metodológicos

e as dinâmicas desenvolvidas nas aulas. Nesse aspecto, para além de se repensar as ferramentas utilizadas no processo de ensino e aprendizado, há de se ter um olhar bastante apurado sobre mudanças metodológicas e, porque não dizer, filosóficas sobre o papel desempenhado por professores e estudantes durante as aulas de física, sejam na abordagem de conceitos clássicos ou modernos.

De fato, são inúmeros os desafios que esperam professores e, principalmente, estudantes quando se busca uma abordagem significativa da MQ no Ensino Médio. Entretanto, os argumentos apontados aqui indicam que as dificuldades que eventualmente podem surgir não devem se sobrepor ao fato de que o entendimento de fenômenos específicos destes estudos físicos pode contribuir, e muito, para a formação do pensamento científico/crítico dos estudantes.

Ao encontro dessas discussões e da necessária busca por novas formas de ensino-aprendizagem que visem tornar a abordagem da MQ mais significativa aos estudantes, este trabalho lança seu olhar para as metodologias ativas inerentes ao Ensino Híbrido como possibilidades de romper com a abordagem tradicional dos conceitos da Física Quântica e dar a professores e estudantes alternativas para a discussão de tópicos da MQ de forma relevante.

Sendo assim, esse trabalho traz uma de sequência didática abordando aspectos conceituais e históricos do efeito fotoelétrico, baseada principalmente nas metodologias ativas do Ensino Híbrido. Com isso, espera-se trazer um exemplo que possibilite vislumbrar novos caminhos para o ensino da MQ e, porque não dizer, da física em nível médio, seja do ponto de vista didático, conceitual ou metodológico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção trataremos de algumas discussões elencadas pelos referenciais teóricos em torno do ensino de Mecânica Quântica (MQ) no nível médio, além de fazer alguns apontamentos sobre pontos importantes das metodologias ativas e do Ensino Híbrido e do ensino por investigação. Além disso, visando as discussões referentes à proposta didática que se constitui como ponto central desse texto, também serão tratados alguns aspectos conceituais e históricos sobre o efeito fotoelétrico que embasarão as proposições realizadas no escopo deste trabalho. Por fim, devido às diversas aplicabilidades dos processos baseados na interação da luz com a matéria, serão explanadas algumas diferenças básicas entre os tipos de sensores baseados nesses fenômenos, a fim de dar ao leitor um panorama sobre os diferentes aparatos tecnológicos que utilizam esses fundamentos com base para seu funcionamento.

2.1 SOBRE ABORDAGEM MODERNA DA FÍSICA QUÂNTICA

Naturalmente, tudo aquilo que é novo traz algum tipo de dificuldade, insegurança e desconfiança, levando muitas vezes o indivíduo a buscar um lugar conhecido como “zona de conforto”. Todavia, o novo também pode ser desafiador e fascinante, trazendo consigo um infinito de possibilidades.

Abordar Física Quântica no Ensino Médio é experimentar o novo, é explorar um lugar pouco visitado. A tal “zona de conforto”, como por exemplo a mecânica clássica, sua bem disseminada forma de ver os fenômenos e as já definidas abordagens teóricas e práticas no ensino pode ser vista por dois prismas diferentes. Aquele que faz oposição à ruptura necessária para o entendimento do “novo”, de uma física que traz consigo leis próprias que desafiam o senso comum. Ou, por outro lado, como possibilidade de tornar-se ponte para a construção de uma nova forma de pensar a física e suas leis.

O formalismo matemático que trata da descrição quântica, os novos conceitos que fogem da Física Clássica e que desafiam o senso comum, os experimentos que abordam temáticas da MQ que as vezes são difíceis de serem compreendidos, são algumas dificuldades que o professor e o aluno devem enfrentar ao tratar o conteúdo de Física Quântica no Ensino Médio (NUNES; MACEDO, 2019).

Conforme já apontava Terrazzan (1992), talvez a maior dificuldade na inserção do ensino de MQ no Ensino Médio seja encaixar as discussões da Física Clássica e da Física Moderna em um programa de três anos no Ensino Médio. Sendo assim, uma possibilidade de

superar essas dificuldades, tanto do ponto de vista curricular quanto ao que tange a construção de novas formas de pensar, seja a inserção de temas da MQ como decorrência dos limites do modelo clássico (TERRAZZAN, 1992).

A despeito das dificuldades que podem surgir quando se propõe abordar a MQ no Ensino Médio, é importante deixar claro que a maior parte dos aparatos tecnológicos utilizados pelos estudantes tem seu funcionamento explicado por definições da física Moderna e dessa forma é provável que os estudantes podem demonstrar maior interesse em adquirir a base desse conhecimento.

Assim como destaca Kunrath (2018),

[...] as tecnologias atuais, conhecidas dos alunos, como celulares, lâmpadas e televisões de LED, tablets entre outras, são desenvolvidas graças ao avanço da Física. Assim, o aluno pode ter curiosidade em saber mais sobre o assunto com o celular no bolso, pois o aluno não tem consciência de quanta Física foi necessária para produzi-lo (KUNRATH, 2018, p. 11).

Reforçando essas observações vale lembrar que a física desenvolvida no Ensino Médio deve permitir que os estudantes pensem e interpretem o mundo ao seu redor, uma vez que o cotidiano do estudante assume papel extremamente relevante na definição da forma de abordagem dos conteúdos (TERRAZZAN, 1992).

Dados todos esses apontamentos, é evidente que ao decidir trabalhar a MQ no Ensino Médio o docente deve estar ciente de que tratar-se-á de um desafio árduo. Todavia, o que salta aos olhos são as inúmeras possibilidades de ampliar a visão dos estudantes sobre diversos aspectos tanto da própria disciplina de física quanto de suas relações com aparatos tecnológicos e o próprio pensamento científico.

Sendo assim, surge um questionamento inevitável: quais são as alternativas para se trabalhar a MQ no Ensino Médio superando os obstáculos de abstração e o formalismo matemático tornando-a interessante e relevante para os estudantes?

Mudanças de postura com relação ao papel desempenhado por professor e aluno frente à construção do conhecimento, variações relacionadas a metodologias que busquem colocar os estudantes como sujeitos ativos no centro do processo de aprendizagem, além da inserção das TDICs (Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação) na abordagem de conceitos podem se tornar aliados importantes para aproximar o interesse dos estudantes à compreensão significativa de fenômenos relacionados à Física Moderna.

Assim como afirma Moran (2015),

(...) aprendemos mais e melhor quando encontramos significado para aquilo que percebemos, somos e desejamos, quando há alguma lógica nesse caminhar – no meio de inúmeras contradições e incertezas –, a qual ilumina nosso passado e presente, bem como orienta nosso futuro. (MORAN, 2015, p. 25)

Como aponta Caversan (2016) é importante ressaltar que com o avanço das Tecnologias e Informação e Comunicação (TICs), tivemos mudanças significativas no perfil do estudante que chegam ao ensino fundamental e médio.

As possibilidades de trabalhar a MQ para o Ensino Médio nos tempos atuais se ampliam exponencialmente caso a abordagem esteja aliada ao uso de tecnologias da informação e comunicação devido ao fato que tais ferramentas podem ser úteis na superação do formalismo matemático e na observação simulada de fenômenos que outrora só poderiam ser modelados matematicamente.

Já que tratar MQ no Ensino Médio pode ser considerado a certo modo como um processo de ruptura de paradigmas educacionais, outro aspecto importante está no papel do professor no processo de construção do conhecimento (ANTUNES; SANTOS, 2018). O tratamento de conceitos e leis da Física Moderna nos tempos atuais requer que o professor se reconheça no papel de facilitador do processo de construção do conhecimento pelo estudante.

O professor deve ter consciência que hoje, em um piscar de olhos, o aluno pode realizar uma pergunta em seu Smartphone e receber, além da resposta, uma relação de sites que discorram sobre o assunto. O professor deixou de ser “enciclopédia ambulante” (CAVERSAN, 2016). Sendo assim, com o advento da tecnologia e a velocidade das informações os docentes devem estar atentos em utilizar as TDICs como ferramentas facilitadoras da aprendizagem seja ela de forma síncrona ou assíncrona.

É importante que se reconheça a valiosa possibilidade de dar aos estudantes autonomia no processo de construção do conhecimento. Claramente, não se pode pensar em trabalhar conteúdo da Física Moderna com bases exclusivamente nas metodológicas tradicionais, estabelecidas a séculos atrás. Irrevogável é lembrar que a escola deve ser um lugar de formação para a vida e não simplesmente para abordagem de conceitos desconectados da vida dos estudantes. Estudar por estudar não faz sentido algum.

Assim como alerta Moran (2015) o desafio da escola é capacitar o aluno a dar sentido às coisas, compreendê-las e contextualizá-las em uma visão mais integradora, ampla, ligada à sua vida. O que se quer dizer aqui é que não se trata apenas de uma abertura para repensar a abordagem da Física Moderna, mas também de pensar-se em uma abordagem moderna da física.

2.2 METODOLOGIAS ATIVAS E ENSINO HÍBRIDO

Tendo em vista a busca por possibilidades de se fazer um Ensino de Física que seja mais interessante e significativo para os estudantes, não apenas no que se refere aos conceitos em si, mas principalmente na capacidade de desenvolvimento do pensamento crítico e reflexivo contribuindo para a formação social dos educandos, é necessário que haja mudanças importantes no papel dos professores e dos estudantes no processo de produção do conhecimento.

Os avanços tecnológicos dos últimos tempos, além de produzir grandes mudanças nas relações sociais, trouxeram a necessidade de formar pessoas proativas, empreendedoras e cada vez mais capazes de tomar decisões. Nesse cenário, espera-se também que a escola, como sendo local de formação, proporcione aos estudantes caminhos para que essas habilidades se desenvolvam.

As modificações possibilitadas pelas tecnologias digitais requerem novas metodologias de ensino, as quais necessitam de novos suportes pedagógicos, transformando o papel do professor e dos estudantes e ressignificando o conceito de ensino e aprendizagem. (BACICH; NETO; TREVISANI, 2015, 73)

A transposição de um modelo tradicional, onde o estudante tem papel passivo, para um modelo que propicie ao educando se tornar mais independente e experimentador é uma necessidade quando o objetivo é formar pessoas capazes de acompanhar e modificar a realidade a qual estão inseridas de forma crítica e reflexiva. Sendo assim, é extremamente importante refletir sobre o papel das metodologias nesse processo de mudança de concepção. Moran (2015), assinala que

(...) as metodologias precisam acompanhar os objetivos pretendidos. Se queremos que os alunos sejam proativos, precisamos adotar metodologias nas quais eles se envolvam em atividades cada vez mais complexas, em que tenham de tomar decisões e avaliar os resultados, com apoio de materiais relevantes. Se queremos que sejam criativos, eles precisam experimentar inúmeras novas possibilidades de mostrar sua iniciativa. (MORAN, 2015, p. 50)

É necessário deixar claro aqui que os conteúdos são sim importantes, uma vez que aprendê-los de forma significativa é parte dos objetivos educacionais. Entretanto, há de se pensar em como esses conteúdos tornam-se, ou não, relevantes na vida desse estudante. Se aparecem como algo descontextualizado de sua realidade e com um fim em si mesmo, raramente interessarão aos alunos e correm o grande risco de que não sejam incorporados à rede de conhecimentos desses estudantes.

Outro ponto importante a se destacar é que as metodologias ativas e os modelos de Ensino Híbrido não impossibilitam que ocorram aulas expositivas. Porém, a ideia é que essas aulas não sejam a única metodologia adotada e que elas tenham um novo significado, mais voltado para a troca entre professores e alunos, discussões e aprofundamentos em determinados temas, sempre associadas a outros momentos que podem ser potencializados com o uso das TDICs (VERGANA; HINZ; LOPES, 2018).

As metodologias ativas, portanto, sugerem a adoção de uma modalidade de ensino híbrida, ou seja, hora presencial, coletiva e face a face, hora digital, remota e mais individualizada. Como apontam Vergana *et al.* (2018),

(...) o Ensino Híbrido pode ser considerado um programa de educação formal no qual um aluno aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino online, com algum elemento de controle do estudante sobre o tempo, lugar, modo e/ou ritmo do estudo, e pelo menos em parte em uma localidade física supervisionada, fora de sua residência. O Ensino Híbrido tem surgido como uma possibilidade real e acessível de mudança. (VERGARA et al., 2018, p. 888)

Vale destacar desde já que com o advento da pandemia de COVID-19 que atingiu todo o mundo e afetou, além da educação, diversos outros setores da sociedade, muito se tem falado sobre Ensino Híbrido no Brasil. Entretanto, o que foi chamado de Ensino Híbrido por professores, gestores e inúmeras instituições de ensino, poucas vezes se aproxima das bases procedimentais, metodológicas e filosóficas apontadas por pesquisadores e autores que versam sobre esse tema. Esse distanciamento entre nomenclatura e aplicação, teoria e prática pode ser de certa forma compreendido, uma vez que até o surgimento da pandemia o Ensino Híbrido, que era uma das opções passou a ser o principal caminho para que os efeitos nocivos do distanciamento social pudessem ser minimizados frente à educação dos estudantes.

Como afirmam Souza *et al.* (2019)

(...) a educação híbrida, atualmente, tem sido um tema cada vez mais discutido nos ambientes educacionais quando se pensa em inovações na área da educação. Ela não se restringe a metodologias ativas ou a equipar as salas de aula com programas de computador; envolve também processos de mobilidade, conectividade e acessibilidade. O Ensino Híbrido constitui um campo de conhecimento ascendente, mas ainda em fase de exploração. (SOUZA et al., 2019, p. 60)

Um dos pontos de partida para compreender o conceito de Ensino Híbrido dentro das metodologias ativas é pensar na personalização da aprendizagem e na capacidade de protagonismo a se desenvolver nos estudantes. Nesse aspecto o professor também deve compreender que seu lugar de palestrantes, detentor do conhecimento e fonte emanadora de

informações perde o sentido, passando ele a ser um orientador da aprendizagem, ou seja, um facilitador para que o próprio aluno construa seu conhecimento de forma personalizada.

Ao se pensar o Ensino Híbrido é importante ter clareza de que o estudante é protagonista e está no centro do processo de aprendizagem conforme mostra a representação da Figura 1.

Figura 1 - Engrenagem educacional associada ao Ensino Híbrido



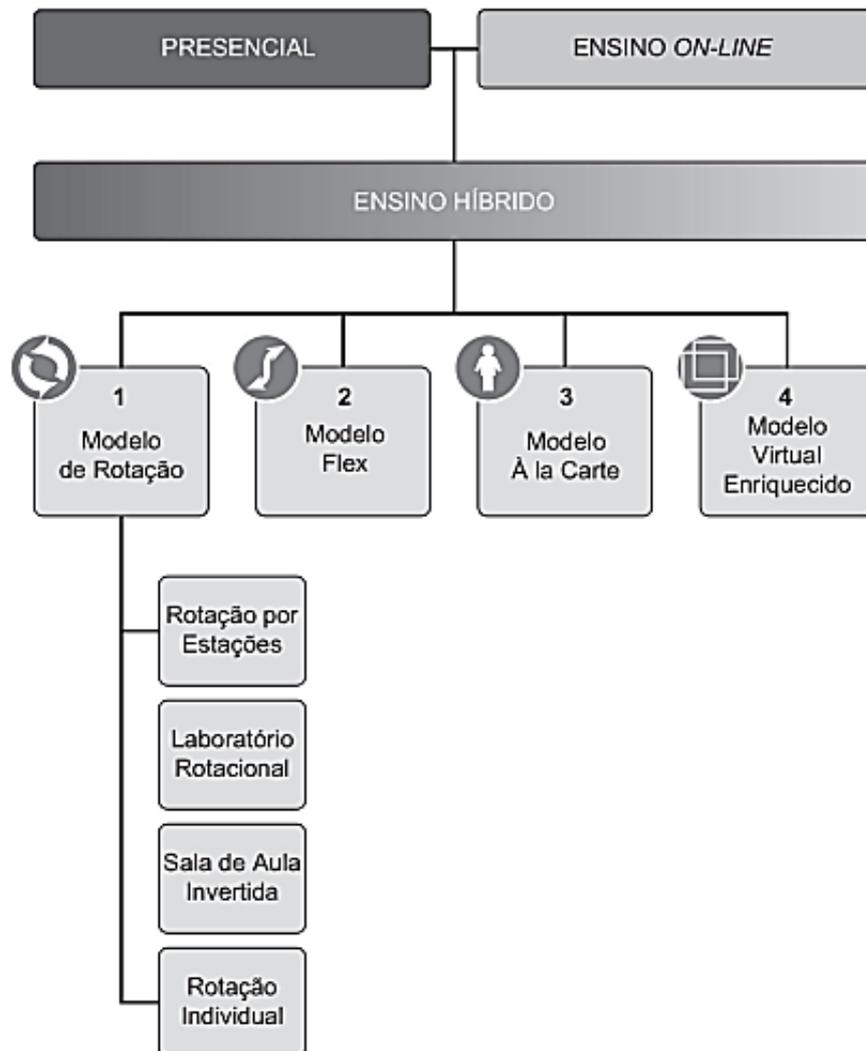
Fonte: BACICH; NETO; TREVISANI (2015)

Com o desenvolvimento cada vez mais acelerado das novas tecnologias de informação e comunicação, os estudantes têm atualmente inúmeras fontes de informação à distância de um simples clique. Além disso, os nativos da era digital estão habituados a conviver com uma grande variedade de informações e estímulos simultâneos, não se enquadrando mais em situações como as das aulas tradicionais onde tudo provém do professor. Os novos modelos de ensino devem preconizar pela centralização do estudante no processo de construção do conhecimento.

Para Moran (2015), o papel da escola não é trazer informação aos estudantes e sim ensinar como eles devem lidar com essas informações de maneira proativa e produtiva. Nesse cenário, é possível vislumbrar que a integração cada vez maior entre sala de aula e ambientes virtuais é fundamental para abrir a escola para o mundo e trazer o mundo para dentro da escola (BACICH; MORAN, 2015).

De acordo com Bacich, Neto e Trevisani (2015), o Ensino Híbrido configura-se como uma combinação metodológica que impacta na ação no professor em situações de ensino e na ação dos estudantes em situações de aprendizagem. A organização dos modelos de Ensino Híbrido pode ser resumida por meio do fluxograma da Figura 2.

Figura 2 - Modelos de Ensino Híbrido



Fonte: BACICH; NETO; TREVISANI (2015)

Conforme é possível observar na Figura 2, vários modelos associados ao Ensino Híbrido, sendo que o modelo rotacional apresenta algumas variações. Segundo Bacich, Neto e Trevisani (2015), podemos descrever os modelos de Ensino Híbrido da seguinte maneira:

- **Modelo Rotacional:** Os estudantes revezam as atividades seguindo um horário fixo ou orientação do professor, executando tarefas que podem envolver discussão em grupo, atividades

de escrita e leitura e, necessariamente, uma atividade online. O modelo rotacional se subdivide nas seguintes propostas de rotação por estações, laboratório rotacional, sala de aula invertida e rotação individual.

- ✓ Rotação por Estações: os educandos são organizados em grupos que realizarão cada um uma determinada tarefa seguindo as orientações do professor. Um dos grupos realizará atividades on-line, sempre valorizando os momentos desenvolvidos individualmente pelos estudantes, bem como aqueles coletivos. Após certo tempo do início da atividade os grupos trocam de lugar até que todos os alunos acessem os mesmos conteúdos. Ao início e ao término do trabalho o professor pode atuar como mediador levantando os conhecimentos prévios, estimulando o trabalho colaborativo e sistematizando, ao final, os aprendizados da aula.
- ✓ Laboratório Rotacional: esse modelo começa com a sala de aula tradicional e em seguida adiciona-se uma rotação para computador ou laboratório de ensino. Nesse modelo, portanto, os estudantes que forem direcionados ao laboratório trabalharão nos computadores, de forma individual e autônoma, para cumprir os objetivos fixados pelo professor, que estará com outra parte da turma, realizando sua aula da maneira que achar mais adequada.
- ✓ Sala de aula invertida: os alunos devem estudar a teoria em casa de forma online e o espaço da sala de aula é dinamizado para discussões e resolução de atividades, por exemplo. O que era feito em classe (explicação do conteúdo) agora é feito em casa, e o que era feito em casa (aplicação, atividades sobre o conteúdo) agora é feito em sala de aula.
- ✓ Rotação Individual: Esse modelo é desenvolvido com cada aluno recebendo uma lista das propostas que deve contemplar na sua rotina para cumprir os conceitos a serem estudados. A elaboração de um plano de rotação individual só faz sentido se tiver como foco o caminho a ser percorrido pelo estudante de acordo com suas dificuldades ou facilidades.

- **Modelo Flex**: Os alunos também têm uma lista a ser cumprida, com ênfase no ensino on-line. O ritmo de cada estudante é personalizado, e o professor fica à disposição para esclarecer dúvidas. Esse modelo, apesar de ser considerado uma possibilidade metodológica, propõe uma organização de escola que não é comum no Brasil.

- **Modelo à la carte:** O estudante é responsável pela organização de seus estudos, de acordo com os objetivos gerais a serem atingidos, organizados em parceria com o educador; a aprendizagem, que pode ocorrer no momento e local mais adequados, é personalizada. Nessa abordagem, pelo menos um curso é feito inteiramente on-line.

- **Modelo virtual enriquecido:** Trata-se de uma experiência realizada por toda a escola, em que em cada disciplina os alunos dividem seu tempo entre a aprendizagem on-line e a presencial. Assim como o modelo à la carte, o modelo virtual enriquecido também propõe uma organização da escola básica que não é comum no Brasil.

Dadas as especificidades de cada um dos modelos descritos acima, as proposições trazidas aqui serão baseadas nos modelos rotacionais, cujas aplicabilidades podem ser relacionadas com a realidade das escolas brasileiras em busca de mudanças metodológicas significativas. Acredita-se que esse seja um caminho com grandes possibilidades de ressignificação, não somente do Ensino de Física, mas no ensino de modo geral.

A mudança de paradigma educacional é necessária, uma vez que a escola e a educação não estão, e não devem estar dissociados do processo de evolução social e tecnológica atual. É nessa direção que caminha o Ensino Híbrido. Nessa metodologia de ensino é possível propiciar um atendimento individualizado do aluno, ao mesmo tempo que permite a troca de conhecimentos, colocando o aluno como protagonista de seu próprio aprendizado (VERGARA *et al.*, 2018).

Em consonância com o que apontam Bacich, Neto e Trevisani (2015), ao afirmarem que os modelos de Ensino Híbrido, de certa forma, organizam uma metodologia que engloba diferentes vertentes e que tem como objetivo principal encontrar maneiras de fazer o aluno aprender mais e melhor, acredita-se que esse seja um bom caminho a ser percorrido para melhorar o ensino e o aprendizado de conceitos físicos, sejam eles clássicos ou modernos.

2.3 ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO E AUTONOMIA DOS ESTUDANTES

Na busca por propostas que visem potencializar e aperfeiçoar o Ensino de Física, seja do ponto de vista didático ou metodológico e, principalmente, do ponto de vista de como os estudantes aprendem, o ensino por investigação também é uma ferramenta de extrema importância. Ao propor aos estudantes atividades que instiguem a busca por soluções, além de trabalhar o pensamento científico, valoriza-se a autonomia dos estudantes envolvidos no processo.

Assim como nas metodologias ativas do Ensino Híbrido, o ensino por investigação pressupõe uma mudança de postura tanto de alunos quanto de professores, dando maior protagonismo para o fazer dos estudantes, em detrimento à mera exposição do conteúdo pelo professor. Moura (2018) afirma que

o Ensino por Investigação baseia-se em propor que o aluno não seja um agente passivo do processo de ensino-aprendizagem e sim o agente principal desse processo, buscando desenvolver habilidades cognitivas e o desenvolvimento da capacidade de argumentação, comunicação e elaboração de estratégias para solucionar problemas (MOURA, 2018, p. 22).

São grandes os desafios que esperam estudantes e professores quando a proposta de ensino está baseada na investigação. Dentre esses desafios está o planejamento do professor, que deve ter flexibilidade para que os objetivos a serem alcançados possam de fato refletir as possibilidades de os estudantes serem protagonistas do processo. Moura (2018) destaca que ao planejar e executar atividades com caráter investigativo o professor deve ter o cuidado de buscar caminhos que introduzam os alunos na cultura científica, sendo que para que isso ocorra, as atividades desenvolvidas precisam propor um ambiente investigativo e trabalhos em grupo para que os estudantes possam socializar e expandir o conhecimento adquirido.

Outro fator importante ao tratar o ensino por investigação é a proposição do problema a ser investigado. Nesse sentido, no ensino por investigação é necessário a proposição de um problema que desperte o interesse dos alunos e, ao mesmo tempo, seja adequado para tratar os conteúdos que se quer ensinar (MOURÃO; SALES, 2018).

No intuito de promover possibilidades e indicar caminhos para que os alunos possam desenvolver o pensamento crítico e autonomia frente ao processo de ensino e aprendizagem, o ensino por investigação e suas diversas metodologias, devem buscar um diálogo próximo entre os conceitos prévios dos estudantes e os conteúdos a serem abordados. Assim, à medida que se faz uma nova proposta dentro da sala de aula é importante que essa esteja relacionada com o cotidiano dos estudantes, despertando neles maior interesse em participar das atividades.

Referindo-se ao ensino por investigação, Carvalho (1999 *apud* SILVA, 2012) salienta que a atividade deve estar acompanhada de situações problematizadoras, questionadoras, diálogo, envolvendo, portanto, a resolução de problemas e levando à introdução de conceitos. Ao entrar na sala de aula com perguntas ao invés de respostas, o professor romperá com a abordagem tradicional e dará aos seus alunos a possibilidade de aprender de forma significativa.

Ao pensar na proposição de um ensino investigativo o professor deve ter em mente que é extremamente importante levar em consideração quais serão os problemas propostos para os estudantes. Nesse aspecto, com indica Carvalho (2018), há de se diferenciar os problemas dos exercícios. Enquanto, nos problemas os estudantes devem procurar respostas e delimitar quais são as variáveis que interferem na resolução, nos exercícios os estudantes normalmente nem prestam atenção ao processo pois estão acostumados a simplesmente utilizar todos os dados fornecidos pelo professor.

As atividades didáticas baseadas no ensino por investigação devem trabalhar a criatividade e o raciocínio dos estudantes frente a necessidade de resolver um problema. Nessa direção, o problema tem importância fundamental, principalmente no que se refere às atividades experimentais introdutórias de conceito ou de sistematização da aprendizagem. Conforme destaca Carvalho (2018),

o problema se torna importante em atividades experimentais introdutoras de conceitos ou sistematizadoras de dados que levarão a leis quando procura relações entre outros conceitos já aprendidos, introduz nova proposta teórica e muitas outras estruturas científicas que devem ser postas na aprendizagem das Ciências (CARVALHO, 2018, p. 771)

Um bom problema de forma geral é aquele que dá aos estudantes condições de: resolver e explicar o fenômeno estudado; levantar hipóteses que o leve a determinar variáveis; relacionar o conteúdo aprendido com seu cotidiano; extrapolar o conteúdo aprendido para outras disciplinas ou situações (CARVALHO, 2018).

Por fim, a aprendizagem por investigação está intimamente relacionada com desenvolver, além de conceitos físicos, a autonomia dos estudantes frente a necessidade de resolver problemas, sejam esses vindos dos próprios alunos ou propostos pelo professor. É nessa direção que se torna cada vez mais necessário colocar os estudantes no centro do processo de ensino aprendido, sendo ao professor reservado o papel de orientar e dar aos educandos possibilidades de dialogar com os objetos do conhecimento que promoverão sua aprendizagem de forma autônoma. Nos tempos atuais, não se quer formar simplesmente pessoas que consumam informação, mas sim que haja na direção de produzir conhecimento.

2.4 EFEITO FOTOELÉTRICO: ASPECTOS HISTÓRICOS E CONCEITUAIS

Com os avanços da tecnologia, atualmente vivemos em um mundo com inúmeros aparatos que ajudam o ser humano a ter mais conforto, mobilidade e trazem inúmeros benefícios em diversos aspectos, desde aqueles ligados a saúde e qualidade de vida quanto à comunicação e ao entretenimento. Com apontam Souza Jr. e Pereira (2017) hoje é possível realizar exames cada vez mais precisos, cirurgias a laser e nos comunicar a distância sem o auxílio de cabos, por exemplo. A sociedade moderna não mais se imagina viver em um mundo sem celulares, câmeras digitais, equipamentos operados por controle remoto entre outros.

Do ponto de vista educacional, é necessário que os estudantes tenham, por meio da educação, possibilidade de dialogar científica e criticamente sobre como as relações entre as pessoas e a tecnologia podem influenciar as relações sociais e pessoais. Além disso, é importante compreender aspectos conceituais e históricos sobre como surgiram e evoluíram aparatos tecnológicos que fazem parte de nossas vidas.

Um dos fenômenos físicos intimamente ligado à diversos equipamentos tecnológicos do cotidiano é o efeito fotoelétrico. Sua descoberta ocorreu no final do século XIX e deu origem a teorias que se tornaram a base para a criação de diversos equipamentos, promovendo assim, um grande avanço tecnológico (SOUZA JR; PEREIRA, 2017). No entanto, a sua explicação envolveu grandes polêmicas teóricas e só foi estabelecida em 1905, por Einstein. Apesar disso, o fenômeno foi rapidamente utilizado pela indústria eletrônica na criação de componentes sensíveis à luz, os chamados elementos fotossensíveis (DA SILVA; ASSIS, 2012).

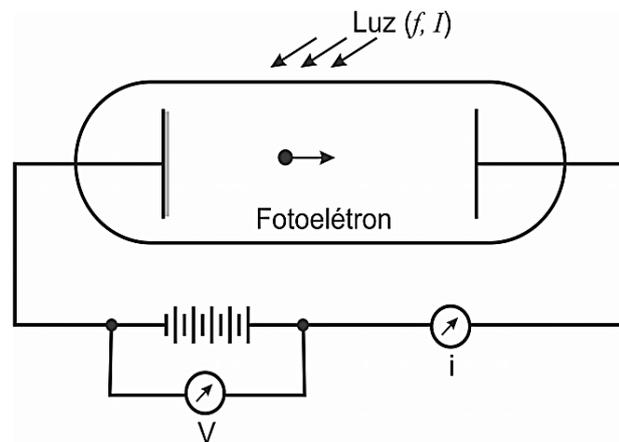
O efeito fotoelétrico foi investigado por Heinrich Hertz em 1887, quando este tentava comprovar a existência de ondas eletromagnéticas, previstas antes por Maxwell (EBERHARDT, *et al* 2017). Em 1888, Phillip Lenard fez alguns experimentos para estudar o efeito fotoelétrico utilizando um aparato semelhante à representação da Figura 3.

Em seu experimento, Lenard percebeu que na ausência de radiação não havia corrente elétrica no sistema, ao passo que a incidência de luz fazia com que o amperímetro registrasse corrente elétrica. Além disso, também como já se previa, verificou que quanto maior a intensidade luminosa maior era a corrente elétrica, uma vez que com mais energia chegando ao cátodo maior seria a quantidade de elétrons ejetados.

Apesar disso, algumas observações de Lenard não correspondiam às previsões baseadas na Física Clássica. O aumento instantâneo da corrente do sistema com a incidência de luz no cátodo era um deles, uma vez que de acordo com o que se esperava a ejeção do elétron deveria

despender um intervalo de tempo considerável, para que pudessem adquirir energia suficiente para escaparem (CABRAL *et al.*, 2015).

Figura 3 - Aparato Experimental usado por Phillip Lenard



Fonte: CABRAL *et al.* (2015)

As definições da mecânica clássica também previam que a intensidade da energia cinética deveria aumentar com a intensidade da luz e que a emissão de elétrons não seria dependente da frequência da luz incidente (CABRAL *et al.*, 2015). Apesar de suas contribuições na observação dos fenômenos associados ao efeito fotoelétrico, Lenard não conseguiu explicá-lo de forma satisfatória, uma vez que suas proposições estavam baseadas no pensamento clássico da física.

As previsões da Física Clássica se mostraram insuficientes para explicar as interações entre as ondas eletromagnéticas e a matéria, e, por consequência, o efeito fotoelétrico, sendo que esse fenômeno se tornou objeto de estudo de diversos cientistas. Ao estudar o espectro de radiação do corpo negro, em 1900 Max Planck fez uma proposta surpreendente e que viria a revolucionar toda a física: de que a interação da radiação com a matéria deveria ser quantizada, granular e não contínua, assumindo valores que seriam múltiplos inteiros de um quantum (CABRAL *et al.*, 2015).

A partir da definição de quantum de energia proposta por Planck, o físico alemão Albert Einstein definiu alguns postulados na tentativa de explicar o efeito fotoelétrico. Para Einstein, cada *quantum* de luz (denominado hoje como *fóton*) podia interagir com um único elétron atômico de cada vez, transferindo a este uma quantidade definida de energia, cujo valor podia ser calculado como o produto da constante de Planck pela frequência correspondente à onda associada ao *quantum* (EBERHARDT, *et al* 2017). Dessa maneira, em um feixe de luz

monocromática, todos os *quanta* tem a mesma energia. Sendo assim, uma luz mais intensa terá apenas uma taxa maior de *quantum* de luz, mas não maior energia.

Portanto, a luz, no estudo de certos fenômenos, não poderia ser mais compreendida como uma onda que transfere energia de forma contínua, segundo a teoria eletromagnética clássica. Ao invés disso, a luz deveria ser tratada como de pacotes de energia quantizada, os *fótons*. Cada fóton carrega uma energia $h\nu$, onde h é a constante de Planck, ν , a frequência da radiação.

Conforme descreve Eberhardt *et al.* (2017), para Einstein, o efeito fotoelétrico pode ser descrito pela observação de que

(...) se um feixe de luz fosse projetado sobre uma superfície metálica e a energia dos *quanta* desse feixe fosse superior a certo valor característico próprio daquele metal, seus elétrons superficiais eram ejetados da superfície metálica com a energia excedente, mas estes poderiam ser freados por um potencial negativo aplicado em um eletrodo adequadamente colocado em seu caminho. (EBERHARDT, 2017, p. 931)

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico lê-se, portanto:

$$E = h\nu = KE_{max} + W_0,$$

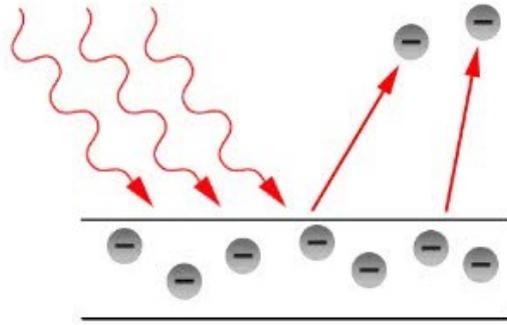
onde h é a constante de Planck, ν , a frequência da radiação incidente, KE_{max} , a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos e W_0 , a energia necessária para removê-los da superfície do material, conhecida como função trabalho. As contribuições de Einstein para a compreensão do efeito fotoelétrico mudaram a forma de se ver as interações entre a matéria e a energia. Entretanto, suas definições não foram aceitas de imediato, sendo de fato comprovadas experimentalmente por volta de 1915, com o Nobel de Física americano Robert Andrews Millikan (EBERHARDT, *et al* 2017).

2.5 APLICAÇÕES DO EFEITO FOTOELÉTRICO VS EFEITOS DIVERSOS EM SEMICONDUTORES

Conforme já exposto, o efeito fotoelétrico baseia-se na ejeção de elétrons de superfícies de certos metais condutores devido à interação dos elétrons de valência desse material com a energia luminosa, que deve ser igual ou superior à função trabalho. Neste processo, o fóton é absorvido pelo material e um elétron da camada de valência utiliza parte dessa energia para

romper a interação com o núcleo atômico, e o restante é transformado em energia cinética na ejeção. A Figura 4 representa esse processo.

Figura 4 - Representação da ejeção de elétrons pelo Efeito Fotoelétrico



Fonte: BlueSol Energia Solar

Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/> (Acesso: 06 abr. 2022)

Cabe ressaltar que o efeito fotoelétrico ocorre usualmente em superfícies metálicas (por exemplo: lítio, sódio, potássio, alumínio, titânio, vanádio, cromo, manganês, ferro, cobalto, níquel, nióbio, molibdênio, ouro, prata e muitos outros elementos da tabela periódica), cujos valores de função trabalho variam tipicamente entre 2 e 6 elétron-volts (eV), correspondendo a faixas no espectro visível a ultravioleta (UV).

Sem dúvidas a compreensão do efeito fotoelétrico muito contribuiu para o avanço tecnológico e a produção de diversos equipamentos. No entanto, ele é utilizado em aplicações restritas, sem uso corriqueiro. Podemos listar tubos de televisão antigos, dispositivos de visão noturna (utilizando por exemplo, metais alcalinos, um tubo de intensificação de sinal, e uma tela de fósforo, onde os elétrons são novamente convertidos em sinais elétricos), e em equipamentos de pesquisa, como as fotomultiplicadoras. Estas consistem em tubos de vidro a vácuo para detectores de luz extremamente sensíveis, utilizadas em física médica, espectroscopia, física de partículas e astronomia. O efeito fotoelétrico também está presente na espectroscopia de fotoemissão, que consiste na caracterização de superfícies de materiais como sólidos, líquidos e gases, através do estudo dos elétrons emitidos após incidência de radiação UV ou raios-X, de forma a obter suas energias de ligação.

Infelizmente na literatura existem muitos trabalhos que relacionam o termo “fotoelétrico” com dispositivos que envolvem absorção de luz. Nesse sentido, Cavalcante *et al.* (2002, p. 1) já ressaltaram que não se deve confundir o efeito fotoelétrico com efeitos de “dispositivos que usam o efeito fotovoltaico (células solares) ou a fotocondutividade (chaves

que acendem lâmpadas de poste, por exemplo)”. Sobre os sensores de presença, segundo o canal Oficiência do Prof. Luiz Antônio de Oliveira Nunes (IFSC/USP), estes funcionam com base no efeito piroelétrico (COMO FUNCIONA, 2017), onde cristais mudam suas propriedades a depender do calor (radiação infravermelho).

Esta observação é importante pois em nosso cotidiano temos diversos dispositivos que relacionam luz e energia elétrica, porém nem todos usam o efeito fotoelétrico. Em dispositivos como as células solares, diodos emissores de luz (LEDs), e os foto resistores (LDRs) são baseados em materiais semicondutores. Neles não ocorre a ejeção dos elétrons para fora do material, mas sim um aumento para níveis de mais alta energia.

Apesar de diferenças importantes entre o efeito fotoelétrico e outros processos de interação da matéria com a luz, como os que ocorrem nos semicondutores, do ponto de vista didático, esses fenômenos podem ser utilizados para que os estudantes possam compreender diversos aspectos da Física Moderna e discutir proposições que transcendam as definições clássicas.

Trabalhar esses conceitos no Ensino Médio pode ser responsável pelo desenvolvimento, ou resgate, do interesse pela Ciência. Ao conhecer os fundamentos que possibilitam as tecnologias usadas com tanta facilidade (como controles remotos) faz-se a ponte entre a Física da sala de aula e o dia a dia tornando seu aprendizado mais atraente e eficiente (FRANÇA, 2015).

A fim de nortear as discussões sobre o uso de cada dispositivo e esclarecer as principais diferenças entre eles, serão tratados a seguir algumas especificações importantes sobre os dispositivos que funcionam baseados na interação da luz com a matéria.

2.5.1 EFEITO FOTOVOLTAICO E SEMICONDUTORES

O efeito fotovoltaico trata-se da interação da luz com a matéria convertendo, por exemplo, energia solar em energia elétrica. Esse efeito baseia-se na utilização de semicondutores e foi observado pela primeira vez por Bequerel em 1839 (SILVA, 2020). Por ser observado a partir de semicondutores, o efeito fotovoltaico se difere do efeito fotoelétrico do ponto de vista do material empregado e do que ocorre com os elétrons dos materiais ao serem incididos por fótons de luz.

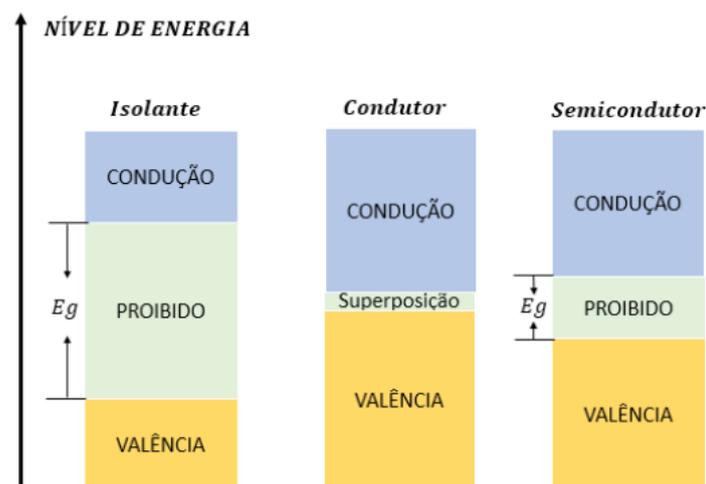
No entanto, para fins didáticos, é possível fazer uma aproximação desses efeitos no que se refere à compreensão de como a matéria interage com a luz do ponto de vista da Física Quântica. Conforme expõe Cavalcante *et al.* (2002),

para entender o princípio básico de funcionamento destes dispositivos, temos que recorrer aos fundamentos da Mecânica Quântica, que descreve a estrutura eletrônica dos sólidos em termos de bandas de energia devido ao acoplamento dos níveis de energia atômicos. A banda mais energética ocupada por elétrons no estado fundamental é chamada banda de valência e a banda de condução comporta os elétrons que podem movimentar-se livremente pelo material (CAVALCANTE, *et al.* 2002, p. 26)

Tratando-se de semicondutores, a distribuição energética dos elétrons é diferente dos metais condutores devido à valores específicos de energia que eles podem assumir em cada material. A explicação para esse fato vem da Teoria de Bandas. Enquanto em um metal condutor existe uma sobreposição entre a banda de valência e a banda de condução, o que explica a quantidade de elétrons livres em sua estrutura, possibilitando que os elétrons sejam excitados para a banda de valência praticamente sem gasto energético, nos semicondutores existe um *gap* de energia (E_g) entre as bandas de valência e condução e isso dificulta a transferência dos elétrons entre as bandas a baixas temperaturas (SILVA, 2020).

Na Figura 5 é possível visualizar de forma representativa o diagrama de níveis de energia entre as bandas de condução e valência de isolantes, condutores e semicondutores. Enquanto para os isolantes essa distância E_g é superior a 5 eV, para o silício e o germânio é, respectivamente, 1,12 eV e 0,67 eV à temperatura ambiente.

Figura 5 - Diagrama de níveis de energia em isolantes, condutores e semicondutores



Fonte: SILVA (2020)

Devido às suas características de estrutura cristalina, a condução dos semicondutores é aumentada com o aumento da temperatura. Isso se dá devido ao fato de a dilatação térmica do

material provoca uma aproximação entre a banda de valência e a banda de condução, tornando a E_g menor e facilitando a transferência dos elétrons para o nível de valência. Assim, podemos dizer que a resistividade de um semicondutor pode ser controlada pela variação de temperatura, ou seja, ao aumentar-se a temperatura a resistividade desses materiais tende a diminuir. Esse fator é preponderante para a vasta utilização dos semicondutores na eletrônica em razão de suas propriedades elétricas e pela possibilidade de variá-las mediante a inserção de suas impurezas em suas redes cristalinas (SILVA, 2020).

Outro fator importante na manipulação de semicondutores é a chamada dopagem, onde outros elementos químicos são adicionados em baixas concentrações para mudar propriedades eletrônicas, óticas e estruturais do semicondutor. No caso do silício, ele possui 4 elétrons na sua camada de valência. A dopagem com átomos como o boro ou alumínio, que possuem 3 elétrons na sua camada de valência, ou pentavalentes como o fósforo, com 5 elétrons na camada de valência, altera as propriedades de transporte, podendo resultar em portadores de carga mais positivos (semicondutor tipo p), como no caso do boro, ou mais negativos (semicondutor tipo n), no caso da dopagem com fósforo. Ao unir esses dois tipos de semicondutores dopados, temos uma junção $p-n$.

Em uma junção $p-n$, entre as duas regiões existe uma região de interface chamada zona de depleção, onde alguns elétrons do semicondutor tipo n se difundem naturalmente devido à agitação térmica e preenchem as lacunas do semicondutor tipo p . Esta migração torna o semicondutor tipo n ligeiramente carregado positivamente, e o semicondutor tipo p negativamente carregado, produzindo um campo elétrico entre as duas regiões, como mostrado na Figura 7.

Quando a luz incide sobre um semicondutor, ela pode excitar um elétron de uma banda de valência, promovendo-o para a banda de condução. Quando a luz incide sobre a zona de depleção de uma junção $p-n$, elétrons são promovidos para a banda de condução, deixando uma vacância. Devido à diferença de potencial da junção $p-n$, o elétron migra para o semicondutor tipo n que está carregado positivamente. Por outro lado, a vacância ou lacuna, comportando-se como uma carga positiva, o chamado “buraco”, flui para a borda do semicondutor tipo p . Esse fluxo é o denominado efeito fotovoltaico. Ao inserir conectores metálicos nas extremidades da junção podemos obter uma corrente elétrica.

Através dessa diferenciação entre metais condutores e semicondutores, é possível perceber que o efeito fotoelétrico e o efeito fotovoltaico são de natureza muito distinta, devido aos diferentes materiais onde ocorrem, metal versus semicondutor, apesar de ambos tratarem da emissão de elétrons por meio da absorção de fótons de luz. Uma diferença importante é que

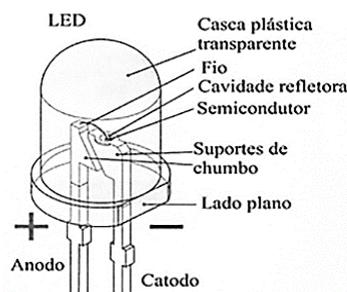
no efeito fotoelétrico o elétron é ejetado do material, a luz possui energia suficiente para arrancar o elétron do material. No efeito fotovoltaico o elétron é excitado, porém permanece no material, se movimentando para outra extremidade.

Outro ponto que diferencia os dois efeitos é que enquanto no efeito fotoelétrico existe uma frequência específica para que os elétrons sejam ejetados, sendo normalmente luz com frequências como UV, no efeito fotovoltaico a excitação dos elétrons ocorre dentro do espectro da luz visível. Isso faz com que a principal aplicação do efeito fotovoltaico seja a geração de energia elétrica a partir de painéis solares. Na maioria das aplicações do efeito fotovoltaico a radiação é a luz solar, por esse motivo, as células fotovoltaicas são comumente chamadas de células solares.

2.5.2 LED: DIODO EMISSOR DE LUZ

A sigla LED pode ser traduzida como Diodo Emissor de Luz. Esse tipo de dispositivo consiste em uma junção entre semicondutores fortemente dopados (CAVALCANTE, *et al.* 2002). O processo de dopagem e junção entre semicondutores é utilizado para potencializar a transferência de elétrons entre a banda de valência e a banda de condução. A Figura 6 mostra as partes constituintes de um LED.

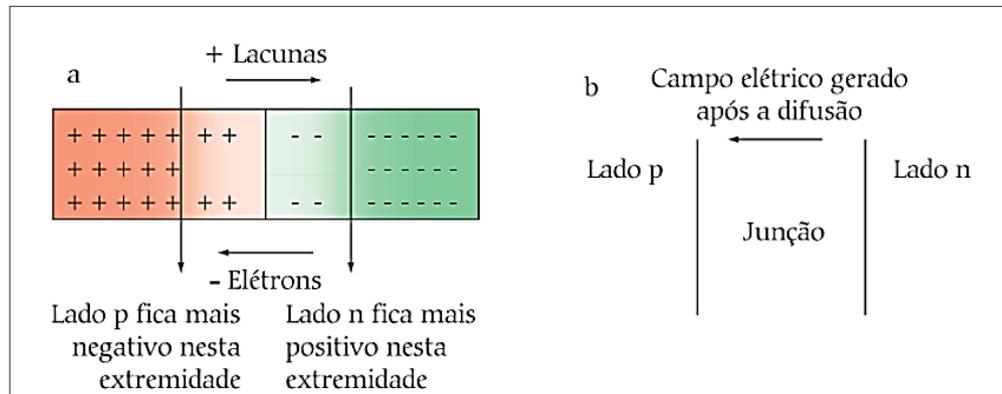
Figura 6 - Partes constituintes de um LED (Diodo Emissor de Luz)



Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2020)

No LED geralmente faz-se uma junção de dois semicondutores chamada junção $p-n$, conforme apresentado na seção anterior. Como explica Cavalcante *et al.* (2002), quando se faz essa junção, os elétrons em excesso da região n e os buracos da região p começam a difundir e se recombinar na zona de depleção. Por consequência o lado p desse semicondutor fica mais negativo e o lado n por consequência ficará mais positivo na região da junção, gerando um campo elétrico, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Representação da junção $p-n$ em semicondutores do tipo LED, com uma zona de depleção em seu centro, para onde elétrons em excesso da zona tipo n migram para recombinar com lacunas da região tipo p . Essa migração produz um campo elétrico.



Fonte: CAVALCANTE *et al.* (2002)

Quando se aplica um campo elétrico externo ocorrerá a polarização direta do diodo, fazendo que haja condução, sendo que a corrente elétrica obtida será diretamente proporcional à tensão aplicada na junção $p-n$. A aplicação de uma tensão externa à junção faz com que os elétrons de condução ganhem energia suficiente para vencer a barreira de potencial e caminhar para a região p . A recombinação dos elétrons com as lacunas produz luz. Cada LED possui uma cor, e uma faixa de tensão adequada para produzir iluminação, a depender do semiconductor utilizado.

As aplicações do LED são as mais variadas possíveis, uma vez que ele pode emitir diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Como aponta Oliveira *et al.* (2020), o princípio de funcionamento do LED consiste na transformação da energia elétrica em radiação, que pode pertencer ao espectro visível ou infravermelho da luz. Sendo assim ele é aplicado em controles remotos, sinalizadores luminosos, equipamentos industriais e painéis de iluminação, entre outros.

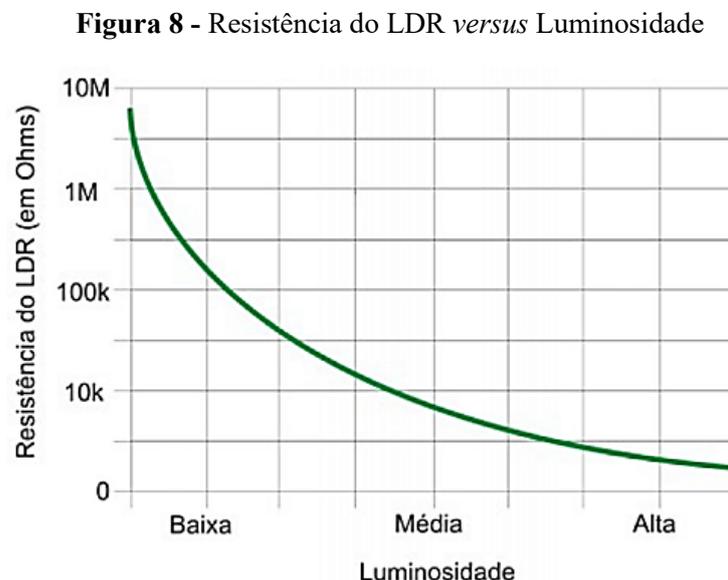
2.5.3 LDR: RESISTOR DEPENDENTE DE LUZ

Os Resistores Dependentes de Luz (LDR) são basicamente sensores de luminosidade muito utilizados em eletrônica. O LDR também é conhecido como fotoresistor, ou seja, trata-se de um resistor que tem a capacidade de variar sua resistividade de acordo com a intensidade da luz incidente. Segundo Gonçalves (2019), esses dispositivos, apresentam um alto valor de resistência elétrica em um ambiente na ausência de luminosidade, e quando expostos à luz, a

sua condutividade elétrica aumenta. Ou seja, oferecem baixa resistência elétrica quando iluminados.

O LDR, também conhecido como célula fotocondutiva, é produzido através de material semicondutor e tem uma região que fica exposta a luz e a intensidade da luminosidade. sua resistência diminui ao ser iluminada, pois a energia luminosa desloca elétrons da camada de valência para a banda de condução, aumentando o número de elétrons e consequentemente diminuindo a resistência elétrica (GONÇALVES, 2019).

O gráfico da Figura 8 representa a relação entre a resistência elétrica de um LDR de acordo com a luminosidade.



Fonte: GONÇALVES. (2019)

De acordo com o gráfico é possível perceber um decréscimo exponencial da resistência do LDR em função do aumento da luminosidade incidentes, isso se dá devido ao tipo de material utilizado na fabricação do LDR.

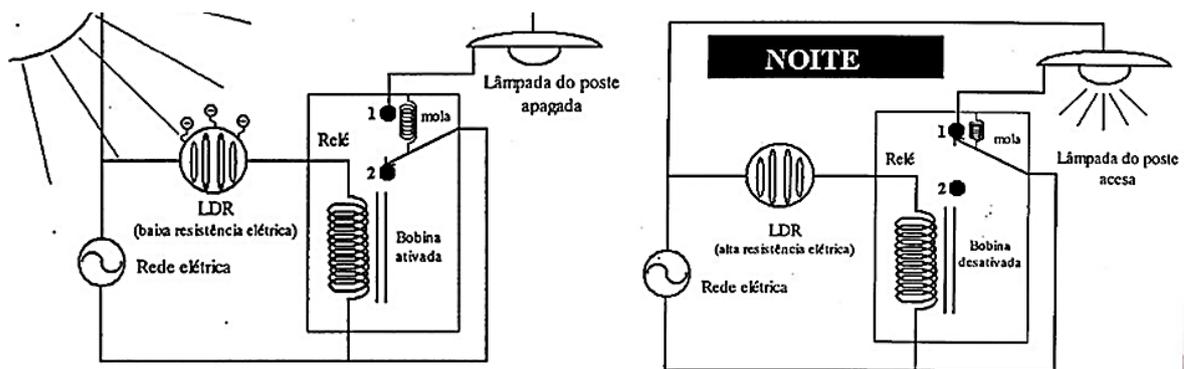
Na construção de LDR's são utilizados materiais de alta resistência elétrica, como por exemplo o Sulfeto de Cádmio (CdS) ou o Sulfeto de Chumbo (PbS), por apresentarem poucos elétrons livres quando colocados em ambiente escuro, e apresentarem grande número de elétrons quando a luz incide sobre eles, aumentando sua condutividade. Quando cessa a incidência de luz sobre o componente, os elétrons retornam à camada de valência e a resistência do material volta a aumentar. (GONÇALVES, 2019, p. 26)

Dentre as várias aplicações do LDR as mais comuns são sua utilização como sensores de presença, controle automático de portas, controle de iluminação de recintos, entre outras

aplicações. Conforme destaca Gonçalves (2019), por apresentar maior sensibilidade na faixa da luz visível verde-amarela, o LDR é componente muito utilizado para detectar o amanhecer e o anoitecer, nos conhecidos interruptores crepusculares ou fotocélulas usadas na iluminação pública.

Nos relês de acionamento das lâmpadas dos postes, temos os sensores de luminosidades contendo LDRs. Como mostra a Figura 9, o poste de iluminação possui uma placa metálica acoplada a um solenoide e um circuito elétrico ligado à rede elétrica. Durante o dia, a luz do sol incidindo na placa metálica faz com que o solenoide comece a gerar um campo magnético. Esse campo magnético irá atrair uma das chaves do circuito fazendo com que ele fique aberto. Quando anoitece, esse campo magnético cessa e a chave (puxada pela mola) retorna à posição original, fechando o circuito e acendendo a lâmpada do poste (SOUZA JR.; PEREIRA, 2017).

Figura 9 - Esquema de ligação do sensor de luminosidade em postes de iluminação



Fonte: VALADARES; MOREIRA (1998)

De acordo com o website Manual da Eletrônica¹ outra aplicação muito comum do LDR é em robôs seguidores de linha, pois com este componente é possível detectar a intensidade da luz que bate no chão e retorna ao sensor do robô, sendo possível criar um robô que seja capaz de seguir uma determinada linha. Além disso, outra aplicabilidade desse dispositivo pode ser na agricultura, onde haja a necessidade de controle de luminosidade para o cultivo, sendo o LDR usado em um sistema para monitorar a intensidade da luz.

¹ Disponível em: <https://www.manualdaeletronica.com.br/ldr-o-que-e-como-funciona/> (Acesso: 07 abr. 2021)

3. POSSIBILIDADES PARA ABORDAGEM DO EFEITO FOTOELÉTRICO ATRAVÉS DO ENSINO HÍBRIDO

Nessa seção será explanada a proposta de desenvolvimento didático na abordagem do efeito fotoelétrico centrada principalmente nas metodologias ativas advindas do Ensino Híbrido. Vale dizer que se trata apenas de uma busca por possibilidades, ou seja, como proposta didática. Os apontamentos, as sequências e as discussões adiante visam ilustrar a inquietação em pensar um Ensino de Física Moderna diferente e, principalmente, mais significativo para os estudantes.

A busca aqui não visa apresentar uma receita pronta de como fazer, mas sim instigar e encorajar educadores sobre a necessidade de mudança. Sendo assim, não é necessário que todas as etapas sejam seguidas literalmente e tampouco exatamente da forma com que serão explanadas. Partindo do princípio da individualidade dos alunos e da personalização do aprendizado, também se tem consciência de que essa individualidade se aplica ao professor, a escola e à realidade da turma.

Para melhor organização da proposta, dividiram-se as abordagens em tópicos, como resume o fluxograma da Figura 10. onde serão tratados aspectos históricos, qualitativos e quantitativos associados ao estudo do efeito fotoelétrico, sempre tomando como referência metodológica o Ensino Híbrido. Como aponta Moran (2015), a aprendizagem se constroi em um processo equilibrado entre a elaboração coletiva – por meio de múltiplas formas de colaboração em diversos grupos – e a personalizada – em que cada um percorre roteiros diferenciadores.

Na proposta de sequência didática apresentada inicialmente será abordado um experimento demonstrativo investigativo como forma de instigar os estudantes a pensar sobre os sensores que fazem o acionamento das lâmpadas de iluminação pública. Com essa atividade pretende-se despertar nos educandos o interesse em propor explicações e hipóteses para fenômenos físicos envolvendo luz e eletricidade.

Na sequência serão propostas algumas discussões históricas sobre a descoberta do efeito fotoelétrico e as explicações propostas desde Hertz até Einstein, além de instigar debates sobre o movimento nazista e as vertentes antissemitas que opuseram Lenard e Einstein. Para tanto, a proposta didática será conduzida de modo com que os estudantes possam fazer toda a organização do conhecimento em casa e de forma remota, possibilitando que o momento presencial seja usado para discussões mais aprofundadas sobre o tema e para debater dúvidas e outras questões para além do que os estudantes pesquisaram.

Figura 10 - Fluxograma de organização da sequência didática



Fonte: os autores

O terceiro momento da sequência será desenvolvido com os estudantes envolvidos na construção de um aparato experimental baseado na produção de corrente elétrica por meio da luz solar. Para tanto, os estudantes serão desafiados a fazer funcionar uma calculadora utilizando LEDs e um capacitor. Nessa atividade, além de proporcionar aos estudantes a construção de equipamentos de forma *maker*², busca-se relacionar os conceitos explorados com suas aplicabilidades práticas no cotidiano dos estudantes.

No quarto tópico será explorada uma simulação computacional do efeito fotoelétrico dando aos estudantes a possibilidade de perceber quais variáveis influenciam nesse fenômeno físico de forma investigativa. Ao invés de dar aos estudantes um roteiro ou tutorial de como explorar a simulação eles serão convidados a responder alguns questionamentos através das descobertas que fizerem na exploração do experimento virtual.

Por fim, o último tópico trabalhará com aspectos quantitativos com o objetivo que os estudantes percebam a linearidade entre a frequência da luz e o potencial de corte e com isso estabeleçam relações que indiquem para a constante de Planck. Para tanto, os estudantes utilizaram novamente a simulação computacional da plataforma Phet Colorado de forma investigativa e buscando solucionar alguns questionamentos elencados pelo professor. Durante essa atividade, assim como as anteriores, o professor deve estimular o protagonismo dos estudantes, atuando como um facilitador do processo de construção do conhecimento.

² Utilizamos esse termo para referir a experimentos que tenham como objetivo fazer com que os estudantes construam de forma autônoma, sem um roteiro pré-estabelecido e tendo como base questionamentos feitos pelo professor.

3.1 TÓPICO 1: DESAFIO INVESTIGATIVO: COMO É QUE ACENDE?

METODOLOGIA EH: Laboratório Rotacional

TEMPO ESTIMADO: 100 minutos (2 aulas)

OBJETIVOS:

- Estabelecer relações entre luz e corrente elétrica;
- Relacionar aparatos do cotidiano com a aprendizagem em física;
- Estimular a curiosidade e a capacidade de resolver problemas.

Para introduzir as discussões sobre o efeito fotoelétrico, sugere-se que o professor aplique inicialmente em sua turma uma atividade experimental de demonstração investigativa. Para tanto, baseado na proposta de Silva Jr. (2020), o professor deverá organizar os alunos em círculo na sala de aula e colocar sob sua mesa o aparato experimental montado conforme a Figura 11.

Figura 11 - Aparato Experimental - Sensor de Iluminação Pública



Fonte: SILVA JR. (2020)

De acordo com Silva Jr. (2020), para a construção desse aparato experimental são necessários os seguintes materiais: (a) uma lâmpada de 60 W; (b) um relê de iluminação pública; (c) bocal para a lâmpada, (d) 2 metros de fio duplo e encapado, (e) conector, (f) base de MDF e (g) parafusos e pregos. Um aspecto positivo dessa montagem é a facilidade de encontrar os materiais em lojas de produtos elétricos, o baixo custo e a simplicidade de sua construção.

Com o aparato ligado à tomada é proposto aos estudantes o seguinte desafio: apagar a lâmpada SEM retirá-la da tomada. Posto desse desafio ele deve permitir que os alunos discutam,

proponham hipóteses e interajam com o aparato de forma a buscar soluções para o problema. Nesse momento, os estudantes são os protagonistas, e o docente deve ter um comportamento mais de espectador, evitando dar aos alunos respostas ou indicativos de como resolver o problema. Cabe ao docente nesse momento instigar a curiosidade dos alunos e garantir que eles discutam entre si e com o professor propondo hipóteses.

Além da pergunta inicial, de como desligar a lâmpada sem usar o plugue da tomada, ao longo da mediação surgem muitas dúvidas, podendo ser preciso fomentar a discussão de forma criativa ou lúdica. Podemos também fazer novas perguntas, caso seja necessário: será que existe algum outro dispositivo similar no nosso cotidiano? Existem outras formas de ligar e desligar algo que não sejam por um interruptor? Para que os discentes se envolvam é preciso possibilitar o espaço para que se expressem. Caso não tenham interesse no desafio, pode ser preciso modificá-lo para que elicie curiosidade e engajamento.

Após esta discussão inicial, o professor irá dividir a sala em dois grupos. O primeiro grupo, com os alunos que quiserem fazer uma busca pela internet, pode ser direcionado para o laboratório de informática, acompanhados por um tutor, onde poderão pesquisar como solucionar o problema e propor uma explicação para o funcionamento do aparato. Também é possível permitir que o grupo que trabalhará na atividade de pesquisa online utilize o celular caso haja a possibilidade de conexão. Seja qual for a dinâmica, o mais importante é que o professor não indique aos estudantes muitos detalhes sobre o aparato, deixando que os alunos busquem descobrir do que se trata e como funciona de forma autônoma.

Enquanto o primeiro grupo está no laboratório de informática, o outro grupo continuará em sala de aula com o professor discutindo possibilidades de cumprir a tarefa proposta inicialmente. Caso no momento anterior, os estudantes já tenham conseguido cumprir a tarefa de acender a lâmpada, o professor deve instigar o grupo que permaneceu na sala a propor alguma explicação para o fato de o acendimento da lâmpada estar condicionado à incidência de luz sobre a célula fotoelétrica. Caso os estudantes já tenham percebido do que se trata, a pesquisa pode ser mais refinada, ou os discentes podem guiar suas pesquisas de forma a reconstruir o aparato, buscar outros exemplares de funcionamento similar, pesquisar o que é uma célula fotoelétrica. Cabe ressaltar que este sensor, que apesar de ser conhecido como célula fotoelétrica, é baseado no efeito de fotocondutividade de um semicondutor, o LDR, conforme discutido no capítulo anterior.

Na sequência, os grupos devem trocar de lugar e os alunos que vierem do laboratório de informática devem apresentar os resultados de suas pesquisas para o professor que deve permitir

que eles interajam novamente com o aparato experimental agora munidos de um arcabouço de informações obtidas nas pesquisas realizadas na internet.

Seguindo com a atividade, o professor agora deve reunir novamente os dois grupos e solicitar que os estudantes falem sobre o experimento, sobre suas pesquisas e que tentem expor qual o fenômeno físico que ocorre na situação proposta, em que outras situações ou aparatos esses fundamentos são utilizados, se eles já viram esse tipo de equipamento ou outros sensores em postes, casas, shoppings, etc.

Ao final da aula, o professor irá entregar a cada estudante uma pergunta para que ele faça uma pesquisa prévia sobre aspectos históricos da constituição das teorias sobre o efeito fotoelétrico que serão abordados na aula seguinte utilizando o modelo de sala de aula invertida.

Com o desenvolvimento dessas atividades espera-se que os alunos se sintam motivados a entender melhor como e porque ocorre o fenômeno físico observado, desenvolvendo assim, além da curiosidade, autonomia para resolver problemas.

3.2 TÓPICO 2: CONTROVÉRSIAS HISTÓRICAS SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO

METODOLOGIA EH: Sala de Aula Invertida e História da Ciência

TEMPO ESTIMADO: 50 minutos (1 aula)

OBJETIVOS:

- Fazer relações entre os conceitos científicos e a História da Ciência;
- Associar a descoberta do Efeito Fotoelétrico com aparatos tecnológicos;
- Refletir sobre a dinâmica das descobertas científicas e a evolução da compreensão dos fenômenos naturais;
- Perceber influências entre o desenvolvimento científico e as relações sociais

Com a finalização das atividades do tópico 1, o professor pode propor aos estudantes que busquem compreender o contexto das observações feitas em torno da descoberta do efeito fotoelétrico. Para isso, serão selecionados vídeos e trechos de documentários que serão enviados aos discentes e um roteiro de perguntas para pesquisa em casa, podendo conter algumas das seguintes perguntas, a depender dos vídeos selecionados:

- Em qual século e em quais anos ocorreram as principais descobertas relacionadas ao efeito fotoelétrico? O que mais acontecia no mundo nesta época?

- Como as primeiras ideias sobre o efeito fotoelétrico foram surgindo? O que o cientista Heinrich Hertz estava estudando e quais foram suas observações?
- O cientista Albert Einstein recebeu o prêmio Nobel pelo efeito fotoelétrico em 1921, apesar de tê-lo esclarecido em 1905. Quais foram os debates racistas e antissemitas envolvendo Einstein e outros cientistas que culminaram desse atraso?
- Busque informações sobre a linha de tempo de desenvolvimento das pesquisas sobre o efeito fotoelétrico, desde Hertz até o Nobel de Einstein.
- Como o conhecimento sobre o funcionamento do efeito fotoelétrico e outros efeitos similares impactam os dias de hoje?

Como sugestão de vídeos podemos citar:

- 1) **Efeito Fotoelétrico - O Nobel de Einstein** (Canal Universo Narrado)

Disponível em: <https://youtu.be/I9WG6IWpc20>

- 2) **O Efeito Fotoelétrico Explicado (O Nobel de Einstein)** – (Canal Ciência Todo Dia)

Disponível em: <https://youtu.be/USGENeYkBd4>

- 3) **O Efeito Fotoelétrico e a Constante de Planck | CCQ 45** (Canal Cura Quântica)

Disponível em: <https://youtu.be/oNB7dUo-t6I>

Ao distribuir essas perguntas aos estudantes o professor deve enfatizar que eles busquem além da informação, colocar suas impressões de forma crítica e reflexiva, discutindo sobre o que levou cada um desses cientistas a chegar nessas conclusões/observações, quais foram as bases utilizadas por eles nas explicações e como historicamente cada um contribuiu para o entendimento do efeito fotoelétrico.

A atribuição de responder a essas perguntas, dada aos estudantes, faz com que a dinâmica da aula seja invertida, uma vez que a teoria ou explicação do conteúdo que antes era feita primeiramente em sala de aula será desenvolvida em casa pelos alunos e a aplicação do conteúdo será feita na classe.

O professor deve iniciar essa aula dividindo a sala em três grupos de acordo com as questões respondidas por cada um. Inicialmente ele irá orientar os estudantes de cada grupo que discutam sobre a pesquisa que fizeram e que verifique o que há de comum e o que há de diferente no que eles trouxeram para que compilem todos os aspectos em um único documento.

Após essa atividade, os grupos devem expor os aspectos pesquisados para os demais colegas. Nessa exposição o professor pode ir anotando na lousa os pontos principais destacados

por cada grupo como descobertas importantes, aparatos experimentais usados e equações relacionadas às explicações sobre o efeito fotoelétrico.

Com isso, o objetivo é montar uma espécie de linha do tempo aliado a um mapa conceitual através do que os próprios estudantes trouxeram para dar a eles um panorama histórico e conceitual sobre como o efeito fotoelétrico foi um fenômeno importante na evolução do pensamento físico e na constituição da Física Moderna.

De posse desse mapa mental, os estudantes poderão fazer novas observações e construir juntamente com o professor relações entre as definições desses cientistas e de outros como Millikan e Planck que também estão intimamente associados à essas discussões.

Para finalizar a atividade o professor poderá solicitar aos estudantes que relacionem as definições de Einstein com as observações feitas no experimento do tópico 1, buscando explicar como ocorre o efeito fotoelétrico e quais as variáveis que estão a ele relacionadas.

3.3 TÓPICO 3: MÃOS A MASSA: CONSTRUIR E COMPREENDER

METODOLOGIA EH: Sala de Aula Invertida

TEMPO ESTIMADO: 50 minutos (1 aula)

OBJETIVOS:

- Construir aparatos experimentais usando materiais de baixo custo;
- Relacionar evidências experimentais com o Efeito Fotoelétrico;
- Relacionar a luz como forma de produzir corrente elétrica;
- Compreender o que é um LED e quais as características de um LED.
- Compreender relações entre a frequência das ondas eletromagnéticas e o Efeito Fotoelétrico

Após o experimento inicial e as discussões históricas em torno da descoberta e definição do Efeito Fotoelétrico os estudantes podem ser orientados a desenvolver alguns experimentos de forma autônoma.

Nessa proposta, baseada em atividades experimentais feitas pelos estudantes. A ideia é disponibilizar para eles os materiais necessários para as montagens de forma que essa atividade desenvolva a capacidade de resolver problemas além de colocar os estudantes como protagonistas do processo de construção dos aparatos. Para tal, os alunos devem ser divididos em grupos aos quais serão atribuídas as tarefas de construir e posteriormente explicar o funcionamento do aparato experimental construído.

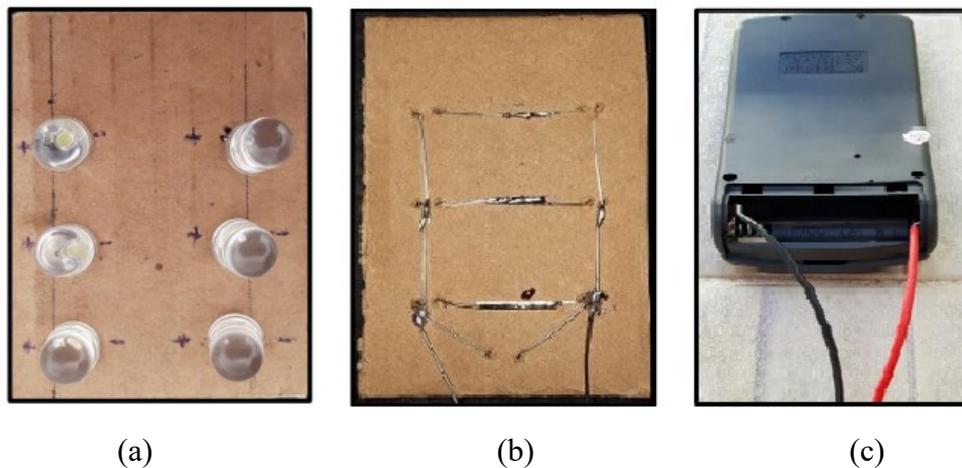
A montagem do aparato deve ser feita pelos estudantes em casa, onde poderão consultar a internet e pesquisar sobre o equipamento em si, bem como para responder algumas questões que serão propostas pelo professor com o objetivo de orientar os estudantes e fazer algumas relações conceituais sobre o Efeito Fotoelétrico.

Calculadora Solar usando LED

Os estudantes de cada grupo receberão materiais como LED, Calculadora Simples 1,5V, equipamento para soldagem e capacitores. Após a entrega desse material o professor irá propor aos estudantes que investiguem uma forma de fazer a calculadora funcionar sem o uso de pilhas, somente com os materiais que foram entregues a eles.

Os detalhes sobre a montagem do equipamento estão disponíveis no texto de Barros (2016) e podem ser vistos na imagem da Figura 12.

Figura 12 - Esquema de montagem dos LEDs e ligação na calculadora



a) disposição dos LED's no papelão; b) soldas dos LEDs; c) soldas dos fios na calculadora.

Fonte: Barros (2016)

Esse experimento baseia-se no fato de que os LEDs têm a capacidade de transformar energia elétrica em energia luminosa, mas que também é possível usar suas propriedades para fazer o caminho inverso, ou seja, transformar energia luminosa (energia solar) em energia elétrica. Isto se deve às características do material semicondutor do qual é constituído.

É interessante que o professor coloque aos estudantes algumas perguntas que devem ser relacionadas com a montagem do aparato experimental e deem indícios que orientem os estudantes em como resolver o problema.

A partir desses questionamentos espera-se que os estudantes pesquisem e busquem formas de fazer a montagem experimental e cumprir o desafio proposto. Durante o processo de produção os alunos se depararão com algumas dificuldades que podem ser fundamentais para que eles desenvolvam a autonomia e façam relações importantes entre a construção e os conceitos físicos associados.

Para isso o professor pode solicitar que os estudantes respondam:

- O que é um LED e como ele funciona? Quais as principais características de um LED?
- O que a cor do LED tem a ver com comprimento de onda e tensão de corte?
- É possível inverter o processo de funcionamento do LED no sentido de produzir energia?
- Qual a relação entre a luz e a produção de corrente elétrica? Qual o fenômeno físico que explica essa relação?
- O que é necessário para fazer a calculadora funcionar?
- Existe alguma forma específica para ligar os LEDs para fazer a calculadora funcionar?
- O que é o capacitor e como ele funciona?

Seguindo a metodologia de sala de aula invertida, o momento presencial em sala de aula servirá para que os estudantes mostrem ao professor as dificuldades que estão enfrentando para cumprir o desafio e tirem suas dúvidas tanto com relação à montagem quanto a associação dos processos experimentais aos conceitos físicos. Ao professor, cabe orientar os estudantes no sentido de instigá-los a buscar respostas. Assim, é importante que o docente oriente, mas não dê respostas prontas, proporcionando os estudantes desenvolver a autonomia dentro do processo.

Dessa maneira, acredita-se que os estudantes possam se sentir mais engajados em fazer novas perguntas, bem como se interessem em construir e pesquisar mais sobre o tema. Talvez esse seja um passo importante para desenvolver a capacidade de criação e o protagonismo dos estudantes envolvidos.

Além disso, na sala de aula o professor pode pedir aos estudantes que expliquem o funcionamento do aparato experimental e falem sobre suas relações com o conteúdo que está sendo estudado. Esse momento pode dar ao professor a possibilidade de avaliar o aprendizado dos estudantes e a construção dos conceitos através das falas e da interação dos educandos.

3.4 TÓPICO 4: ENTENDENDO E EXPLICANDO MELHOR

METODOLOGIA EH: Rotação por Estações

TEMPO ESTIMADO: 100 minutos (2 aulas)

OBJETIVOS:

- Entender o que é um LDR (Light Dependent Resistor - Resistor Dependente de Luz);
- Observar a relação entre a resistência e a intensidade da luz no LDR;
- Compreender o que comprimento de onda e frequência e a relação entre os dois
- Observar o espectro eletromagnético associando-o a frequência da luz e comprimento de onda
- Relacionar frequência e corrente elétrica no Efeito Fotoelétrico;

Nessa atividade os alunos serão divididos em grupos, sendo que cada um desses grupos irá rotacionar dentro das estações montadas pelo professor, garantindo que cada um deles passe por todas as estações. As estações serão organizadas de forma a permitir que os estudantes façam observações utilizando aparatos experimentais e uma simulação virtual baseadas no efeito fotoelétrico, para tanto, será utilizada a sala de aula e o laboratório de informática da escola. A seguir serão descritas cada uma dessas estações.

Estação 1 (Sala de Aula):

Ouçá seu controle remoto!?

Será montado um aparato experimental, baseado no trabalho de Silva e Assis (2012), em que os alunos ouvirão o ruído que o circuito produzirá ao receber o sinal de um controle remoto. A montagem do aparato experimental em questão pode ser vista através da Figura 13. Nesse experimento os estudantes poderão perceber como a variação da frequência pode ser fator importante para a ocorrência do efeito fotoelétrico.

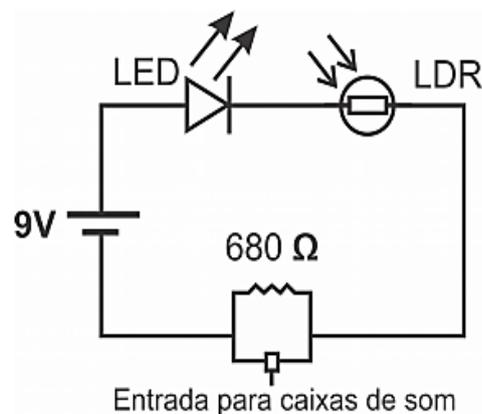
Figura 13 - Aparato experimental da Estação 1



Fonte: CABRAL *et al.* (2015)

Nessa montagem serão utilizados materiais de fácil acesso em lojas de eletrônica e de baixo custo. Os detalhes da montagem do circuito estão demonstrados no esquema da Figura 14.

Figura 14 - Esquema de montagem do circuito para o experimento "ouça seu controle remoto"



Fonte: CABRAL *et al.* (2015)

O componente LDR (Resistor Dependente de Luz) absorve o sinal do controle remoto, usado como fonte emissora de radiação eletromagnética, produzindo um aumento da corrente elétrica e na diferença de potencial. Com isso, as caixas de som captam a diferença de potencial gerada pela corrente emitindo um som que dependerá da frequência do controle (CABRAL, *et al.* 2015).

O professor deve colocar na montagem do aparato experimental o nome de cada um dos componentes utilizados e propor aos estudantes que façam através do celular pesquisas para

explicar o que é cada um dos componentes da placa (LDR, LED, Resistor, etc) e qual sua função no aparato. Além disso, o professor deve instigar os estudantes a pesquisarem sobre como funciona o controle remoto, que tipo de radiação ele emite e como essa radiação interage com o LDR produzindo o som nas caixas acústicas.

Ao interagir com esse experimento, e buscar respostas para os questionamentos do professor, espera-se que os estudantes percebam a existência de uma relação entre a frequência e a ocorrência do efeito fotoelétrico. Para isso, o professor pode pedir aos estudantes que façam anotações dessas observações e colocar alguns questionamentos ou informações adicionais sobre a frequência do controle remoto de maneira a orientar os alunos a chegarem nessa conclusão.

Estação 2 (Laboratório de informática):

Investigando o Efeito Fotoelétrico e suas características

Essa estação ocorrerá no laboratório de informática de forma individualizada onde os estudantes irão utilizar uma simulação computacional³ para analisar algumas situações de ocorrência do efeito fotoelétrico. A Figura 15, mostra a tela inicial da simulação e suas configurações principais.

Nesse momento os estudantes irão interagir com a simulação de forma investigativa. Como exemplo, poder-se-ia propor que os estudantes tentassem acender uma lâmpada imaginária através do simulador, que deve obter uma certa voltagem adequada. O manuseio da simulação computacional pelos estudantes será livre, tendo ele a possibilidade de configurar o experimento virtual como melhor desejar, utilizando a plataforma como ferramenta na busca em responder os questionamentos do professor.

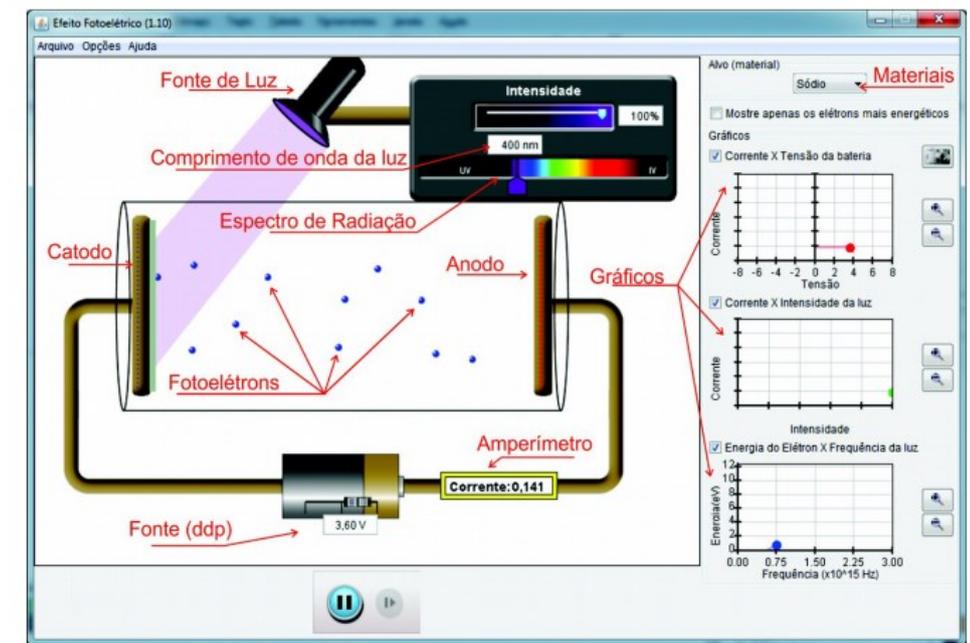
Abaixo estão algumas sugestões de perguntas que podem ser feitas pelo professor aos estudantes durante sua interação com a simulação computacional, caso deseje, ou encontre necessidade de realizar uma mediação mais orientada:

- O que esse dispositivo parece fazer? Como ele funciona?
- O que é o cursor colorido? O que significam os símbolos UV, IR e as cores?
- Qual é a função do cursor superior *intensidade*?
- O que são as bolinhas azuis que saem da placa iluminada?

³ Simulação disponível gratuitamente através da plataforma Phet Colorado através do seguinte endereço: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric Acesso em: 10 jan. 2022

- Qual fenômeno físico a simulação virtual parece demonstrar?
- Como esse fenômeno ocorre?
- Existe alguma energia mínima para o efeito acontecer? Por quê?

Figura 15 - Simulação sobre Efeito Fotoelétrico da plataforma Phet



Fonte: CABRAL *et al.* (2015)

Ao propor aos estudantes perguntas ao invés de respostas o professor traz para o processo de aprendizagem características investigativas, de forma que os educandos busquem responder aos questionamentos de forma autônoma. Essa mudança de postura pode proporcionar o protagonismo dos estudantes frente a construção do conhecimento que potencialmente torna-se mais significativo.

Através desta atividade computacional, pretende-se proporcionar aos estudantes uma outra possibilidade de visualização de fenômenos físicos associados ao comportamento da luz e sua interação com a matéria.

Após finalizar a rotação por todas as estações os estudantes serão conduzidos para uma roda de conversa em que exporão suas impressões, observações e conclusões para os colegas. Nesse momento o professor pode avaliar a evolução conceitual dos estudantes acerca do tema estudado e instigar o debate de ideias e as construções.

Nessa oportunidade o professor poderá também construir uma sistematização de ideias e conceitos com a produção de um mapa conceitual, por exemplo, junto com os estudantes,

levantando os conceitos que já foram discutidos e alguns questionamentos que ainda devem ser investigados. Durante a construção desse mapa conceitual o professor poderá fazer relações entre os conceitos aprendidos e outros conceitos estudados pelos estudantes como as ideias da natureza ondulatória da luz, trazer ou propor a dedução de algumas equações junto com os estudantes, sempre tomando cuidado para que o rigor matemático não sobressaia ao entendimento dos conceitos e fazendo a construção junto com os estudantes e a partir das ideias/concepções deles.

3.5 TÓPICO 5: DETERMINANDO A CONSTANTE DE PLANCK

METODOLOGIA EH: Sala de Aula Invertida

TEMPO ESTIMADO: 50 minutos (1 aulas)

OBJETIVOS:

- Relacionar a frequência da luz e a ocorrência do efeito fotoelétrico;
- Entender a necessidade de um valor de energia mínima para ejeção de elétrons;
- Trabalhar variáveis que se relacionem com o efeito fotoelétrico;
- Relacionar por meio de gráficos a frequência com o potencial de corte;
- Determinar a constante de Planck por meio da análise gráfica usando simulação computacional

Após o desenvolvimento de todos os tópicos anteriores, estima-se que os estudantes já possuam conhecimentos para discutir de forma qualitativa o efeito fotoelétrico. Por outro lado, partindo para os aspectos quantitativos desse estudo, é possível propor algumas atividades para que os estudantes possam trabalhar fundamentos matemáticos acerca do efeito fotoelétrico.

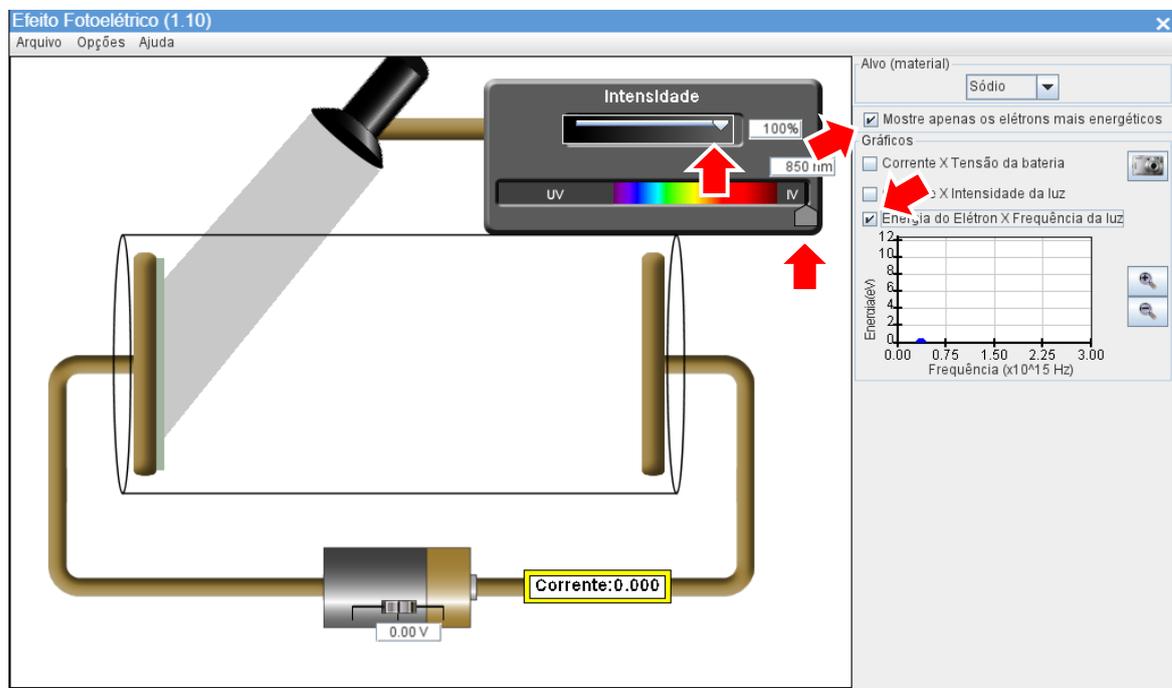
Para tanto, novamente será utilizada a simulação computacional da plataforma Phet. Baseado no modelo de Sala de Aula Invertida, o professor irá solicitar aos estudantes que utilizem em casa a simulação seguindo um roteiro de perguntas com o objetivo que ao final do processo o educando seja capaz de visualizar a relação linear entre a frequência e o potencial de corte. Com isso, espera-se também que possam chegar a considerações sobre a constante de Planck, principalmente à sua ordem de grandeza.

ROTEIRO

Você já explorou a simulação do Efeito Fotoelétrico nas aulas anteriores agora vamos aprofundar nossos estudos sobre esse fenômeno físico e investigar mais algumas relações. Nas discussões que fizemos em sala de aula você deve ter percebido que é possível produzir corrente elétrica através da interação entre a luz e alguns materiais.

PARTE 1

Para entender o comportamento desse fenômeno que chamamos de Efeito Fotoelétrico e determinar algumas grandezas a ele associado vamos fazer algumas configurações no simulador de acordo com a imagem abaixo:



Agora varie o comprimento de onda associado a luz partindo o IV em direção ao UV percorrendo todo espectro luminoso e responda:

- O que você percebeu que ocorre com a variação do espectro luminoso? Qual a frequência da luz para que começasse a observar algum efeito?
- O que acontece com o gráfico à medida que você varia a cor da luz?
- Existe alguma relação entre o espectro luminoso e a frequência?

- Tire uma foto do seu gráfico e busque descrever quais características ele tem. Qual função matemática que você estudou mais se parece com esse gráfico?
- Tente relacionar o gráfico produzido com uma função matemática. Se necessário pesquise na internet ou peça ajuda a seu professor de matemática.
- Mude o material e repita o procedimento anterior. Os gráficos são parecidos para materiais diferentes? O que isso pode significar?

PARTE 2

Agora vamos aplicar um pouco mais de seus conhecimentos matemáticos. Tente responder o desafio:

Os gráficos gerados no experimento são retas inclinadas. Considerando para o eixo-y que $1eV = 1,6 \times 10^{-19} J$ e que no eixo-x a frequência indicada é multiplicada por $10^{-15} Hz$, tente calcular a inclinação da reta para diferentes tipos de materiais.

Agora responda:

- Existe alguma relação entre as inclinações das retas calculadas para diferentes materiais? Como você poderia interpretar essa relação?

Com o desenvolvimento dessa atividade espera-se que alguns estudantes possam visualizar alguma relação entre a inclinação das retas dos gráficos de Energia \times Frequência e que consigam determinar valores para essa inclinação na mesma ordem de grandeza da constante de Planck. Assim, o professor pode auxiliar na interpretação desses resultados experimentais proporcionando que parta dos alunos as considerações que serão feitas na aula e discutidas em torno do conceito em si. Desse modo, acredita-se fazer com que o aprendizado, mesmo de conceitos que exijam maior arcabouço matemático, se torne mais interessante e, principalmente significativo para os estudantes uma vez que as definições vieram por meio de descobertas dos próprios educandos.

Após a execução do roteiro pelos estudantes o professor deve pedir para que eles apresentem os resultados obtidos e trabalhar de forma a esclarecer as dúvidas sobre os fundamentos matemáticos que estão associados ao estudo do efeito fotoelétrico.

Assim, o momento de interação com o professor na aula deixa de ser apenas para a exposição de conteúdo face a observação passiva dos estudantes. Ao contrário, é a partir da exposição do estudante frente a um trabalho mais individualizado, autônomo e personalizado que irá direcionar a atividade do professor. Dessa maneira, a dinâmica da aula tende a ser mais fluida e participativa, indo ao encontro dos preceitos das metodologias ativas do Ensino Híbrido.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração desse trabalho certamente desperta uma inquietude não somente para a reflexão sobre a forma com que se tem feito o Ensino de Física, em especial da Física Quântica. Ela traz à tona a necessidade de modificar a realidade e a dinâmica das aulas para que a abordagem dos conceitos possa alcançar os estudantes nascidos na era digital. As discussões feitas aqui mostram que não há como pensar uma educação para os estudantes dos tempos atuais baseada unicamente em metodologias de séculos atrás. É nesse sentido que a busca por possibilidades volte os olhares para o Ensino Híbrido e principalmente, para as metodologias ativas.

Os estudantes desse século anseiam em ser protagonistas e desenvolver conteúdos atitudinais como a autonomia. Sendo assim, os docentes devem estar alinhados a essas expectativas e procurar modificar a forma com que se ensina, uma vez que já é fato notório que a forma com que se aprende mudou e continua mudando. Tendo como referências essas reflexões, pode-se considerar que esse trabalho traz para a cena do Ensino de Física, algumas possibilidades que se afastam do método tradicional expositivo predominante e buscam abrir mais espaço para que o ensino se volte para seu ator principal, o estudante. Para além do conceito de efeito fotoelétrico, o ponto chave das discussões trazidas aqui é a mudança. Em um pensamento da física aplicada, a proposta descrita aqui almeja estimular o rompimento da inércia e fazer com que o movimento em direção de uma aprendizagem significativa para os estudantes possa começar.

Por fim, tem-se clareza de que como proposta, ainda existe uma lacuna importante a ser entendida no que se refere à aplicação prática nas aulas de física. No entanto, é a partir de ideias que ocorre a ruptura de paradigmas. Partindo dos apontamentos trazidos aqui, os passos subsequentes são aplicação, adaptação e discussões na abordagem efetiva das propostas no contexto real da sala de aula. Essas etapas, sugerem, portanto, a continuidade dessas proposições e investigações em novas pesquisas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, D. S. H.; SANTOS, A. M. A escola em uma realidade quântica: Educação e paradigmas emergentes. **Polêm!ca**, v. 18, n. 4, p. 23-45, out. – dez., 2018

BACICH, L.; MORAN, J. J. Aprender e ensinar com foco na educação híbrida. **Revista Pátio**, nº 25, junho, 2015, p. 45-47.

BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. (Org.) **Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Porto Alegre: Penso, 2015.

BARROS, N. K. O. **O programa institucional de bolsa de iniciação à docência (PIBID) e a produção da calculadora solar de baixo custo para uso em atividades experimentais nas aulas de física**. Monografia (Licenciatura em Física do IFRN) Santa Cruz, 2016. 50 f.

BARROSO, M. F.; RUBINI, G.; SILVA, T. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 4, e4402, 2018

CABRAL, J. C.; SILVA, A. S. P.; MACIEL, A. M. **Efeito Fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos**. In: Caderno do Professor de Física. v. 1, n. 3, 51 p. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Lavras: UFLA, 2015.

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.18, n.3, 765–794. Dezembro, 2018

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R.; SOUZA, D. D.; MUZINATTI, J. Uma aula sobre o Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **A Física na Escola**, São Paulo, v.3, n.1, p.24-29, 2002.

CAVERSAN, R. H. M. **Explorando o Ensino Híbrido em Física: uma proposta para o ensino de fenômenos ondulatórios utilizando ferramentas multimidiáticas**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2016.

COMO FUNCIONA - Sensor de Presença. Roteiro e apresentação de Luiz Antônio de Oliveira Nunes. São Carlos: Grupo de Óptica/Cepof do Instituto de Física de São Carlos (IFSC), Universidade de São Paulo. 1 vídeo (11min 25s). Publicado pelo Canal Oficiêcia. Disponível em: https://youtu.be/_epyTqleTy0. Acesso em 12 maio 2022.

DA SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, n. 2: p. 313-324, ago. 2012.

EBERHARDT, D.; LAHM, R. A.; BAITELLI, P. B. Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 928-950, dez. 2017.

FRANÇA, C. S. M. Física Moderna no Ensino Médio: uma atividade para o ensino do efeito fotoelétrico. In: Anais do XII Congresso Nacional de Educação (EDUCERE), p. 27742-27751. Curitiba, 2015.

GONÇALVES, E. J. **Uso de um dispositivo LDR para o ensino de semicondutores fotoresistivos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Medianeira, 2019.

KUNRATH, R. I. **Estratégias de ensino-aprendizagem na compreensão da dualidade da luz**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Medianeira, 2018.

MENEGOTTO, J. C.; ROCHA FILHO, J. B. Atitudes de estudantes do ensino médio em relação à disciplina de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** vol. 7 nº 2, 2008.

MORAN, J. **Educação híbrida: um conceito-chave para a educação, hoje**. In: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. (Org.). Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

MOURA, F. A. **Ensino de Física por investigação: uma proposta para o ensino de empuxo para alunos do ensino médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Pará (UFPA), Programa de Pós-graduação em Física (PPGF), Belém, 2018.

MOURÃO, M. F.; SALES, G. L. O uso do ensino por investigação como ferramenta didático pedagógica no Ensino de Física. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.5, p. 428-440, 2018.

NARDI, R. org. Ensino de ciências e matemática, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: **Cultura Acadêmica**, 2009. 258 p. ISBN 978-85-7983-004-4.

NUNES, J. C.; MACEDO, E. R. Introdução ao ensino da física quântica no ensino médio: um relato de experiência. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9163-9169, jul. 2019.

OLIVEIRA, I. N.; RAMOS, J. A. P.; SILVA, W. L.; CHAVES, V. D.; MELO, C. A. O. Estudo das propriedades do Diodo Emissor de Luz (LED) para a determinação da constante de Planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 42, e20190105, 2020.

SANTOS, G. **Espaços de Aprendizagens**. In: BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. (Org.). Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

SILVA, J. R. **Uma sequência de ensino investigativa para a abordagem do Efeito fotovoltaico**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal Fluminense (UFSCar), Volta Redonda, 2020.

SILVA, M. **Um estudo de aspectos do sistema solo planta a partir de uma abordagem investigativa no ensino de Química**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Química) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2012.

SOUZA JR, F. A. L.; M. V. Uma proposta de ensino do efeito fotoelétrico utilizando simulação computacional a partir dos três momentos pedagógicos. **Rev. Elet. DECT**, Vitória: Espírito Santo, v. 7, n. 2, p 103-129, agosto de 2017.

SOUZA, T. M.; CHAGAS, A. M.; ANJOS, R. C. A. Ensino híbrido: Alternativa de personalização da aprendizagem. **Revista Com Censo**, n. 16, v. 6 (1). mar, 2019

TERRAZAN, E. A. Inserção da física moderna e contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, Florianópolis, v.9, n.3: p.209-214, dez.1992.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1998.

VERGARA, A. C. E.; HINZ, V. T.; LOPES, J. L. Como Significar a Aprendizagem de Matemática Utilizando os Modelos de Ensino Híbrido. **Revista Thema**, v. 15, n. 3, p. 885 a 904, 2018