



O uso do *arduino* em uma abordagem significativa envolvendo o comportamento dual da luz em experimentos para o ensino médio.

The use of *arduino* in a meaningful approach involving the dual behavior of light in experiments for high school.

JAILSON F. LIMA^{1,2}, SILVÂNIA A. CARVALHO^{*2,3}

¹Colégio Estadual Professor Ney Cidade Palmeiro

²Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense

³Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense

Resumo

Neste trabalho empregamos um experimento controlado pelo *arduino* na abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, como o comportamento ondulatório e corpuscular da luz, por meio de práticas experimentais envolvendo os fenômenos de polarização da luz e efeito fotoelétrico. Tomando como base conceitos de Aprendizagem Significativa, introduzimos o assunto através de mapas conceituais que auxiliaram na identificação dos subsunçores, empregamos atividades baseadas em Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) com o simulador PhET - Simulações Interativas e o Physics at School Lite para discutir os tópicos, montamos sistemas experimentais com circuitos e, por fim, controlamos os experimentos pelo *smartphone* com o intuito de enriquecer o trabalho através da aquisição de dados quantitativos. Os resultados superaram os objetivos iniciais como ilustrado através das análises dos questionários, concluindo que os estudantes apresentaram uma excelente receptividade aos experimentos realizados, bem como indicaram as ocorrências de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, conceitos inerentes à Teoria da Aprendizagem Significativa.

Palavras-chave: Aprendizagem significativa. Física moderna e contemporânea. TDICs. Experimentação. *Arduino*.

Abstract

In this work we employ an *arduino*-controlled experiment to address Modern and Contemporary Physics, such as the wave and corpuscular behavior of light, by means of experimental practices involving the phenomena of light polarization and photoelectric effect. Based on Meaningful

*silvaniaalves@id.uff.br

Learning concepts, we introduce the subject through of concept maps that helped in the identification of subsumers, we used activities based on Digital Information and Communication Technologies (TDIC) with the PhET simulator - Interactive Simulations and Physics at School Lite to discuss the topics, we set up experimental systems with circuits and, finally, we control the experiments by smartphone in order to enrich the work through the acquisition of quantitative data. The results exceeded the initial objectives as illustrated by the analysis of the questionnaires, concluding that the students showed an excellent receptivity to the experiments carried out, as well as the occurrences of progressive differentiation and integrative reconciliation, concepts inherent to the Theory of Meaningful Learning.

Keywords: *Meaningful learning. Modern and contemporary physics. TDICs Experimentation. Arduino.*

I. INTRODUÇÃO

A proposta do Currículo Mínimo (CM) para o ensino médio na rede estadual do Rio de Janeiro (SEEDUC - SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO) passou a apresentar, dentre os conteúdos de Física, abordagens de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nas três séries desse nível (SEEDUC, 2012). Entretanto, os principais impecilhos encontrados para essa implementação, por parte dos professores dessa disciplina, situam-se na baixa disponibilidade de materiais didáticos e pouca oferta de insumos para aulas experimentais. Quando abordamos a questão da realização de atividades experimentais em sala de aula, podemos recordar temas relacionados tais como: excelência na aprendizagem e limitações estruturais das instituições de ensino. Com a Física isso não é diferente, uma vez que estes aspectos pesam no momento de propor uma metodologia eficiente aos professores para que uma proposta experimental seja aplicada. Para que haja plenitude na implantação de atividades práticas, devemos refletir sobre algumas questões (RAMOS, 2018). Em função disso, o ensino de Física torna-se cada vez mais dependente, numa realidade atualizada e praticamente irreversível, das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). No que diz respeito à adoção de atividades experimentais no ambiente escolar, adaptado ou não para a realização de experimentos científicos seja por mera observação conceitual, seja com o objetivo da obtenção de dados experimentais, é imperativo que a atualização dos métodos de aprendizagem da disciplina passem a estabelecer uma nova realidade. No referente ao ensino da Física moderna e contemporânea (FMC) torna-se praticamente imprescindível o uso de meios eletrônicos e digitais nas práticas experimentais. A denominada cultura *maker*, onde a autonomia do estudante nas atividades práticas torna-se mais intensa, fluindo de projetos experimentais de redescoberta para os de investigação, está presente em várias propostas de ensino de ciências em escolas públicas e privadas no Brasil. O acesso à linguagens de programação e a fundamentos de automação e robótica auxiliam não só a compreensão dos fenômenos físicos abordados como também inserem os estudantes em um ambiente de alta tecnologia, que fortalece significativamente a obtenção do conhecimento científico. Motivados em aperfeiçoar nossas aulas para atender à demanda de inserir conceitos de FMC propostos no CM da rede estadual de ensino do estado do Rio de Janeiro, nossa proposta de trabalho de pesquisa tomou como base desenvolver uma sequência

didática com culminância em uma atividade experimental que faz uso da tecnologia *arduino* para obtenção de dados experimentais quantitativos. Através da utilização dessa tecnologia podemos realizar experimentos com enfoque em FMC e associar os resultados previstos em uma sequência didática, para nós inspirada na proposta da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), onde os alunos são apresentados a um conjunto de recursos didáticos (AUSUBEL, 1993) que constituem um Material Potencialmente Significativo (MPS).

Metodologicamente, essa atividade experimental é precedida por um conjunto de procedimentos onde o cognitivo dos alunos é submetido à inserção de novas informações ao mesmo tempo que seus conhecimentos prévios; os *subsunçores*, são colhidos e analisados mediante o uso de mapas conceituais e aplicação de um pré-teste (MOREIRA; MASINI, 2006). Aliada a essa proposta, a atividade experimental inicialmente é apresentada de modo "prático" ou no estilo "maker", ou seja, a sequência didática propõe aos estudantes os experimentos com uma abordagem inicialmente *qualitativa*, onde as observações do fenômeno da polarização linear da luz, bem como do efeito fotoelétrico e do comportamento dual da luz são verificados através de fotos e/ou filmagens. Uma vez que o experimento é plenamente executado e analisado, são apresentados os kits automatizados com *arduino*, que mediante a uma programação executada através de *smartphones*, repetem os experimentos com obtenção de dados via monitor serial do IDE (ambiente de desenvolvimento integrado). A sequência didática é concluída com base nos dados obtidos, onde tais resultados são utilizados com intuito de encontrarmos indícios de uma aprendizagem significativa.

Os dispositivos automatizados com *arduino* foram concebidos com base na montagem dos experimentos, onde elementos passivos e sensores integram-se em circuitos elétricos montados pelos alunos, de acordo com a orientação de um roteiro. A versão atual da sequência didática é parte integrante de um produto educacional gerado por meio de uma dissertação de mestrado (LIMA, 2020), que teve sua aplicação realizada no mês de novembro de 2019 no Colégio Estadual Professor Ney Cidade Palmeiro, em turmas da 3^a série do ensino médio. Os principais resultados previstos pela TAS foram alcançados, uma vez que a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integrativa foram verificadas através dos questionários avaliativos preenchidos pelos alunos após as atividades.

Para darmos continuidade a discussão, apresentamos a seção II que versa sobre a fundamentação teórica, a qual tem como objetivo fornecer ao leitor os conceitos de Física necessários à compreensão dos assuntos abordados ao longo do texto. Na sequência, discutimos de maneira direta e sucinta as teorias de aprendizagem e propostas didáticas aplicadas no desenvolvimento do trabalho. Neste ponto, introduzimos a seção III que descreve a inspiração que deu origem à pesquisa, as dificuldades encontradas, a coleta de informações, o desenvolvimento do produto educacional e os momentos de aplicação do produto educacional. Um vez que descrevemos as atividades realizadas, resumimos na seção IV não só os resultados obtidos a partir das respostas dos alunos aos questionários mas também os resultados de testes realizados para justificar a importância da pesquisa e a inferência das teorias e meios empregados ao longo dos momentos de sua aplicação. Por fim, resumimos de modo objetivo se a finalidade da proposta do trabalho foi alcançada, mencionamos os pontos de melhoria que foram necessários e apresentamos as perspectivas futuras do trabalho.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que nosso trabalho tivesse o suficiente suporte teórico e abordasse adequadamente a proposta mencionada na introdução, apresentamos o embasamento teórico usado nas próximas seções.

II.1. Fundamentos de Física Moderna e Contemporânea

Nesta seção, introduzimos tópicos como o de óptica geométrica, bem como discutimos os conceitos de eletromagnetismo que definem a natureza ondulatória da luz. Em seguida, tratamos dos fenômenos ondulatórios enfatizando a luz como radiação eletromagnética, dispensando atenção especial à polarização das ondas luminosas. Na sequência, introduzimos o tópico da teoria quântica destacando o efeito fotoelétrico e discutindo o tópico de dualidade partícula-onda e dos dispositivos eletrônicos fotossensíveis ativos e passivos.

A aplicação da óptica geométrica simplifica os cálculos devido ao princípio da propagação em linha reta da luz em meios homogêneos e isótropicos, como o são o ar e a água. Essa proposição tomaria ênfase nos estudos de Isaac Newton (1642-1727), publicados em sua obra *Óptica* de 1704, onde os preceitos da teoria corpuscular da luz tinham como base a propagação luminosa retilínea por intermédio de corpúsculos luminosos, que tornavam possíveis de explicação os fenômenos luminosos da reflexão, refração e dispersão luminosas. Para um melhor entendimento das leis da reflexão e da refração, lançamos mão do princípio estabelecido por Pierre de Fermat (1607-1665), que aplicado em óptica é um princípio do tipo extremo e estabelece que a trajetória percorrida pelos raios de luz ao se propagar de um ponto a outro é tal que o tempo gasto em percorrê-la é o mínimo possível (RODITI, 2005). Aplicando o princípio de Fermat aos feixes refletido e refratado entre dois meios com índice de refração n_1 e n_2 , chegamos a:

$$\alpha = \alpha', \quad (1)$$

que é a lei de reflexão, com α sendo o ângulo de incidência e α' o ângulo de reflexão. E temos ainda a lei de refração, ou lei de Snell, dada por:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \alpha'', \quad (2)$$

onde α'' é o ângulo de refração da luz no meio com índice de refração n_2 .

James Clerk Maxwell (1838-1876) nos trouxe como grande contribuição, através da formalização das equações de Maxwell, a indicação que o estudo da luz, comumente chamada de Óptica Física, mostra-se como um ramo do Eletromagnetismo. As quatro equações de Maxwell na forma diferencial, tendo o vácuo como meio de propagação, estão apresentadas pela Tabela 1 (NUSSENZVEIG, 2002).

Nesta tabela, \vec{E} e \vec{B} representam os campos elétricos e magnéticos e ϵ_0 e μ_0 são a permissividade elétrica e a permeabilidade magnética no vácuo, respectivamente. A partir de manipulações algébricas nas equações de Maxwell, Tabela 1, chegamos a equação de

Tabela 1: Ilustração das quatro equações de Maxwell no vácuo em sua forma diferencial.

Leis	Forma diferencial
Lei de Gauss para a eletricidade	$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$
Lei de Gauss para o magnetismo	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
Lei de Faraday	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Lei de Ampère-Maxwell	$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

onda no vácuo para um vetor campo elétrico $\vec{E}(x, y, z, t)$ de acordo com a Lei de Faraday

$$\nabla^2 \vec{E}(x, y, z, t) - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}(x, y, z, t)}{\partial t^2} = 0, \quad (3)$$

e a equação de onda para um campo magnético $\vec{B}(x, y, z, t)$, de acordo com a Lei de Ampère-Maxwell, dada por

$$\nabla^2 \vec{B}(x, y, z, t) - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}(x, y, z, t)}{\partial t^2} = 0. \quad (4)$$

Em uma dimensão, a solução da equação de onda para os campos elétrico e magnético assume a forma:

$$\vec{E}(x, t) = E_0 e^{i(\kappa x - \omega t)} \hat{j}, \quad (5)$$

e

$$\vec{B}(x, t) = B_0 e^{i(\kappa x - \omega t)} \hat{k}. \quad (6)$$

onde as amplitudes (E_0 e B_0) estão relacionadas à intensidade da onda, que determina a energia que está sendo transportada.

Como apresentado anteriormente, a luz é uma onda eletromagnética. Entretanto, mediante alguns aspectos, também pode manifestar propriedades de matéria. Essa proposta foi feita por Newton no século XVIII, através de sua teoria corpuscular. Entretanto, esses conceitos encontraram oposição na teoria ondulatória da luz, proposta por Christiaan Huygens (1629-1695), que justificava-se no princípio das frentes de onda e conseguia explicar os fenômenos luminosos da difração, interferência e polarização, algo que a teoria de Newton não logrou êxito. Anos mais tarde, a teoria ondulatória prevaleceu sobre a teoria corpuscular, através de experimentos realizados (BARTHEM, 2005), de maneira independente, por

Thomas Young (1773-1829), Joseph Von Fraunhofer (1787-1826) e Augustin Jean Fresnel (1788-1827), convergindo para sua aceitação. A teoria ondulatória permaneceria plenamente aceita com o advento do eletromagnetismo, porém a natureza corpuscular da luz teria uma nova chance com o surgimento da física quântica.

No que se refere ainda ao comportamento ondulatório, as ondas transversais polarizadas surgem a partir de ondas não polarizadas por fenômenos de absorção, espalhamento, reflexão e birrefringência (HALLIDAY; RESNICK, 1993a; HALLIDAY; RESNICK, 1993b). Para que apenas a parte que se propaga em determinada direção seja observada, os outros feixes não desejáveis devem ser absorvidos, desviados ou refletidos por algum corpo. Existem diversos materiais que, ao serem atingidos pelos feixes de luz, deixam passar apenas uma parte da onda luminosa. Esses são conhecidos como polaróides.

Como estamos interessados nas amplitudes que são valores reais dos campos elétrico e magnético, tomamos a parte real das Eqs. (5) e (6), que leva a:

$$\vec{E}(x,t) = E_0 \cos(\kappa x - \omega t) \hat{j}, \quad (7)$$

e

$$\vec{B}(x,t) = B_0 \cos(\kappa x - \omega t) \hat{k}. \quad (8)$$

Quando analisamos a luz a partir das equações (7) e (8), as amplitudes E_0 e B_0 são as intensidades de vetores reais e constantes e a direção do campo elétrico não se altera com o tempo, ocorrendo apenas variações em sua intensidade. Neste contexto, \vec{E} descreve o campo elétrico em um ponto do espaço como uma função do tempo, sendo a onda luminosa linearmente polarizada (NUSSENZVEIG, 2002). Quando a luz natural incide sobre um cristal polarizador, ele efetua a separação dos feixes luminosos, de modo que os feixes oscilando paralelamente ao seu eixo são transmitidos, enquanto que os feixes que oscilam perpendicularmente são absorvidos. O cientista Étienne-Louis Malus (1775-1812) (RODITI, 2005) enunciou a relação que descreve a razão entre as intensidades de entrada e saída da luz durante sua passagem por um analisador como

$$I = I_0 \cos^2 \theta, \quad (9)$$

com I sendo a intensidade da luz emergente enquanto que a medida I_0 corresponde à intensidade da luz incidente.

Por outro lado, no formalismo de comportamento corpuscular, foi possível observar teorias que auxiliaram no entendimento deste formalismo. Max Planck (1858-1947) mediante um artifício puramente matemático e valendo-se de conceitos clássicos, afirmou que as radiações eletromagnéticas incidentes no interior da cavidade de um corpo negro faziam vibrar os elétrons como se cada um destes fosse um oscilador harmônico simples, onde essas radiações mostram-se com a mesma frequência de vibração. Para obter acordo com a experiência, ele descobriu que podia obter uma função empírica que permitiria calcular a energia média E emitida ou absorvida supondo-a não uma variável contínua, mas "quantizada" em relação a um oscilador de frequência ν e dependente de múltiplos inteiros

de um “*quantum de energia*”, a qual era expressa como

$$E = nh\nu , \quad (10)$$

onde $n = 1, 2, 3, \dots$, ν é a frequência da radiação eletromagnética e h é a constante de Planck cujo valor é $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J·s ou $h = 4,14 \times 10^{-19}$ eV·s. A energia radiante fluía na forma de pequenos pacotes, os fótons, e foi descoberto que a energia de movimento de um fóton era proporcional à frequência da radiação. Neste contexto, o efeito fotoelétrico foi investigado. Este fenômeno consiste na liberação de elétrons da superfície de um material metálico após a absorção da energia proveniente de uma radiação eletromagnética incidente sobre ele, de tal modo que a energia total dessa radiação é parcialmente transformada em energia de movimento dos elétrons expelidos desse material.

A partir dos estudos da época, foi possível perceber que a corrente elétrica dependia da frequência da radiação incidente no material metálico e não de sua intensidade, o que indicava observações que não podiam ser explicadas pela teoria clássica. Com isso, ao estudar esse mesmo efeito, Albert Einstein recorreu à teoria corpuscular da luz e aos estudos de Planck, formulando postulados que evidenciavam como agente responsável pela ejeção de cada elétron um único fóton; uma partícula de luz que transferia ao elétron toda a sua energia, ejetando-o do material, desde que sua frequência fosse grande o suficiente para vencer a energia de ligação desse elétron com o átomo do metal. Quando a energia $E = h\nu$ de um desses fótons e uma medida ϕ (conhecida como *função trabalho* do metal; sendo esta uma característica que corresponde à quantidade de energia necessária para ejetar fotoelétrons do material) eram relacionadas de acordo com a Lei da Conservação de Energia, chegava-se a relação

$$K_{max} + \phi = h\nu , \quad (11)$$

onde K_{max} corresponde ao valor máximo da energia de movimento dos *fotoelétrons*. Ficava assim definida a *equação do efeito fotoelétrico*

$$K_{max} = eV_C = h\nu - \phi . \quad (12)$$

Como h e e são constantes universais, como vemos na equação (12), vemos que V_C é uma função de 1º grau da frequência ν da radiação luminosa que incide no material metálico (TIPLER; LLEWELLYN, 2014). Os conceitos de polarização da luz e efeito fotoelétrico foram discutidos com os alunos ao longo da realização dos experimentos para que os alunos pudessem identificar estes fenômenos através das medidas experimentais. Sistemas eletrônicos baseados em sensores semicondutores fotoresistivos (*LDR*) e fotovoltaicos (*LED* e *fotodiodos*), bem como as fotocélulas vieram para resolver questões tecnológicas do século XX. Os sistemas de iluminação pública e a conversão de luz solar em energia elétrica, por exemplo, são algumas dessas aplicações tecnológicas. O produto educacional derivado desse trabalho de dissertação demonstrou algumas aplicações desses elementos semicondutores.

II.2. Teorias de Aprendizagem

Nesta seção, trataremos de maneira breve e sucinta, as teorias de aprendizagem que dão suporte pedagógico ao desenvolvimento de nosso trabalho. Com o intuito de desenvolver um material potencialmente significativo, inicialmente versaremos sobre a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), que é a principal fonte de conceitos inspiradores de nossa sequência didática, como também trataremos da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), uma vertente inovadora de ensino que reforça nossa abordagem. Para complementar nossa metodologia de trabalho, descrevemos o uso específico das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) de acordo com as necessidades de nossa pesquisa, bem como a utilização de microcontroladores *arduino* com o objetivo de aprimorar a análise quantitativa das atividades experimentais do produto educacional.

- Aprendizagem significativa

No que se refere à TAS, Ausubel dizia que, quanto mais sabemos, mais aprendemos. Para que tenhamos isso em mente, a TAS baseia-se na proposta afirmativa que o ato de aprender é muito mais que uma absorção mecânica ou uma execução de comandos (MOREIRA; MASINI, 2006). A utilização de expressões e conteúdos relacionados a essa teoria foram de extrema relevância para nossa pesquisa. Ausubel idealizou que, a todo momento, o aprendiz deverá assumir a posição de protagonista do processo de aprendizagem. Cada indivíduo, conscientemente, traz consigo conhecimentos anteriores sobre diversos saberes. O cotidiano do aluno é a base fundamental para a assimilação desses conceitos, sendo este mais ou menos intenso na construção cognitiva de cada um. Atribui-se ao termo *formação de conceitos* o processo que ocorre na infância do educando, onde através de sua experiência de vida, ocorre a fundamentação desses elementos determinantes. O fato de uma criança associar o fogo e o gelo com o a sensação de quente e frio é um exemplo simples desse prenúncio (AUSUBEL, 2003). Entretanto, a *aprendizagem significativa* ocorre plenamente quando o aprendiz passa a ter a capacidade de receber informações novas e, racionalmente, torna-se capaz de fazê-las interagir com seus conhecimentos prévios. Segundo Ausubel, os *subsunçores* ou *âncoras* nada mais são que as informações já estabilizadas na formação do conhecimento de cada indivíduo. Superado o período pré-escolar do educando, a formação de conceitos é substituída pela assimilação de conceitos, ou seja, uma vez que já existe uma base de compreensão, essa permite às pessoas contrair novos saberes, conhecer novos elementos e discernir entre um ou outro conteúdo. Elas tornam-se capazes de receber novas informações e identificá-las. Ocorre então a proposta do uso dos denominados organizadores prévios, que são estruturas introdutórias de conteúdo, capazes de interligar os conhecimentos prévios com as novas informações apresentadas ao aluno, criando um espaço específico para a compreensão dos conceitos. A TAS prevê a adoção de um dispositivo denominado material potencialmente significativo (MPS), capaz de dar ao aprendiz a relevância concreta do conteúdo abordado, reter sua atenção e fomentar nesse a pré-disposição em aprender, associado a uma estrutura cognitiva preexistente, sem que haja comprometimento no protagonismo do educando.

O conhecimento prévio nunca mais retornará a forma anterior, o que se chama de *assimilação obliteradora*, tornando-se amplo e completo, entretanto anulando algumas partes específicas do todo. A assimilação obliteradora é parte do processo de aprendizagem significativa, ou seja, Ausubel traz a proposta de que ideias mais gerais e inclusivas de

uma matéria sejam logo apresentadas, aprofundando-as em seguida. É o que se chama de *diferenciação progressiva*. Seguindo o processo, a *reconciliação integrativa* indica a necessidade de trazer ao aprendiz através do MPS, elementos que o incentivem a pensar, explorando significados e buscando similaridades e diferenças (MOREIRA, 2012).

Desde a infância, o ser humano classifica os conhecimentos que assimila através de experiências do cotidiano. Os conceitos assumem aspectos denotativos e conotativos. Como proposto por Ausubel, os significados desses conceitos assumem a forma de um *significado fenomenológico*, quando são levados em consideração os aspectos particulares do indivíduo que os formaram. A importância do professor é preponderante em criar mecanismos que organizem melhor a forma de ensinar, dando apoio ao aprendiz na exploração de seus conhecimentos e a maneira mais adequada para assimilá-los (MOREIRA; MASINI, 2006). Uma organização sequencial permite tirar proveito da interdependência dos conteúdos abordados de uma disciplina, de modo que alguns desses conceitos mais abrangentes sejam capazes de auxiliar na assimilação dos demais. Com isso, a inserção dos *mapas conceituais* (MC) surge como uma proposta para expor conceitos, a partir daquele mais abrangente, interligando-o com os menos abrangentes, até que sejam atingidos os conteúdos mais singulares.

Dessa maneira, o professor deve ter o objetivo de organizar as ideias de forma que após sua explicação, o mapa conceitual não se torne um objeto a ser memorizado, mas um instrumento para o aprendizado. O aprendiz deve assumir papel ativo e raciocinar para alcançar o conhecimento. A retenção das informações é fundamental para o sucesso da aplicação do método. Tomaremos contato com indícios das aplicações da TAS ao longo deste trabalho através do uso de mapas conceituais e de perguntas motivadoras.

- TDIC

Nos dias atuais, é possível perceber que a comunicação em tempo real é amplamente dominada pelos jovens em idade escolar e que pensar no mundo atual sem estar globalmente conectado através da grande rede de computadores é algo improvável. Em nosso país, o uso de tecnologias de *tablets* e *smartphones* como instrumentos de aquisição de conhecimento está constituindo-se em um ramo de investigação para o desenvolvimento da educação básica (BAIRRAL, 2017) e passam a fazer parte da realidade escolar, em ritmo acelerado. A aquisição e manuseio desses equipamentos em detrimento aos computadores pessoais, nem sempre disponíveis, viabilizam sua aplicação em sala de aula, onde o professor assume o papel de sugerir e orientar o emprego dessas tecnologias como real fator para o ganho pedagógico, e não como simples instrumento de entretenimento.

Dessa forma, a familiaridade com esses dispositivos deve ser reforçada como um novo paradigma de abordagem educacional. Os aplicativos digitais são capazes de estabelecer a interface entre a aprendizagem tradicional e as novas tecnologias. Com isso, entra em questão o conceito de letramento digital. Nessa proposta, o indivíduo deve ser capaz de ler, interpretar e conduzir as informações e os dados constantes na tela tal como em um material impresso, tornando-se protagonista do gerenciamento desses conteúdos, tal como é feito na simples utilização dos dispositivos por puro entretenimento. No que se refere às TDIC, o fator preponderante não é a tecnologia em si, mas a acessibilidade a ela (JORENTE, 2012). Com isso cabe aos gestores e docentes, serem os facilitadores dessas tecnologias através

do fomento ao letramento digital dos discentes, com o objetivo de que todo o processo de ensino e aprendizagem possa usufruir dessa realidade.

- A automatização como recurso experimental

Quando é abordada a questão de experimentos de Física em sala de aula, podemos recordar temas relacionados tais como excelência na aprendizagem, limitações estruturais e conhecimento do método científico por parte dos alunos. Estes aspectos pesam no momento de propor uma metodologia eficiente aos professores para que uma proposta experimental seja aplicada. Para que haja plenitude na implantação de atividades práticas, devemos refletir sobre algumas questões:

O primeiro passo para a implementação de tais atividades em sala de aula, é analisar tal metodologia em suas várias faces e definir o que queremos com ela: “*como será implementada?*”, “*com quais objetivos?*” e “*em qual espaço físico?*”. Como isso normalmente não é feito, tudo carece de um modo de potencializar seu uso e de entendê-la em sua plenitude. Esta tarefa não é simples, tendo em vista a complexidade das interações entre os sujeitos (professor e estudantes), o conhecimento e a sociedade em sala de aula. Por este motivo, se torna bastante complexo definir os limites, muitas vezes difusos, entre as facetas da experimentação.

No que se refere à adoção de atividades experimentais no ambiente escolar, adaptado ou não para a realização de experimentos científicos, seja por mera observação conceitual, seja com o objetivo da obtenção de dados experimentais, é imperativo que a atualização dos métodos de aprendizagem da disciplina passem a estabelecer uma nova realidade. No referente ao ensino da FMC torna-se praticamente imprescindível o uso de meios eletrônicos e digitais para as práticas experimentais a serem implementadas (CAVALCANTE; BENEDETTO, 1999). A cultura *maker* está presente em várias propostas de ensino de ciências nas redes de escolas públicas e privadas no Brasil. O acesso às linguagens de programação e a fundamentos de robótica auxiliam não só na compreensão dos fenômenos físicos abordados em nossa disciplina, como também inserem os estudantes em um ambiente de alta tecnologia, que fortalece significativamente a obtenção do conhecimento científico (CAVALCANTE M. A.; TAVOLARO; MOLISANI, 2011). Nossa proposta de trabalho de pesquisa toma como base para obtenção de dados experimentais a tecnologia *arduino*. Mesmo não sendo de informação recente e já amplamente difundida numa vertente inovadora de aprendizagem; na cultura *maker* (CARVALHO, A. B. G.; BLEY, 2018), os dispositivos *arduino* são de relativa facilidade de obtenção e de custo razoável. Através da utilização dessa tecnologia pode-se, com excelente aproveitamento, realizar atividades práticas com enfoque em FMC e associar esses resultados previstos em uma sequência didática inspirada parcial ou totalmente nas TAS e ABP, posto que a experimentação obedece a critérios inerentes a essas teorias.

- A experimentação como elemento fundamental

Já foram tentadas várias teorias e tecnologias educacionais para a melhoria do ensino de Física através da experimentação, desde o *Método da Redescoberta*, passando pelos trabalhos de Jean Piaget e Lev Vigotski (GASPAR, 2003) e chegando aos processos orientados pelas TAS e ABP. Em nossa pesquisa, procurando absorver as peculiaridades desses elementos do

processo ensino-aprendizagem de ciências, as atividades experimentais figuraram como algo fundamental uma vez que toda a orientação desse trabalho não poderia prescindir dessa temática. Porém, as dificuldades estruturais e a carência de materiais científicos capazes de dar suporte à aprendizagem dos conceitos de Física e principalmente de FMC, trazem-nos à luz do desafio de ensinar com significância, o que podemos perceber através da seguinte citação (GASPAR, 2003):

Embora as atividades experimentais sejam uma necessidade incontestável para todo professor da área de ciências, sua utilização ainda é inexpressiva no ensino fundamental e raríssima no ensino médio; quando aplicadas, os procedimentos quase sempre são tradicionais.

Através dessa percepção, procuramos dentro da realidade discente e dos recursos disponíveis, atender à exigência de ensinar os fenômenos científicos sem abrir mão das práticas experimentais que os justifiquem. A viabilidade dessas atividades deve buscar transpor os empecilhos estruturais que, em nosso caso, teve como norte elementos de ABP, que é um método de aprendizagem em que os estudantes se deparam inicialmente com um problema, o qual é sucedido por uma investigação em um processo de ensino e aprendizagem que seja centrado no próprio aluno (ANTÔNIO; CALEFI, 2013). Mesmo que esta instiuição de ensino contasse com um laboratório científico, na maioria das vezes não havia disponibilidade de equipamentos capazes de suprir a carência técnica e pedagógica, sendo necessário aplicar recursos de mídia disponibilizados pelas TDIC, como também reaproveitar equipamentos descartados, retirando de aparelhos mecânicos e eletrônicos peças e dispositivos, que manuseados pelos alunos ganhavam a forma de experimentos de eletromagnetismo e física ondulatória. Ao fim da atividade, os estudantes respondiam questões propostas pelo professor autor, no formato de relatório experimental, o que não só funcionava como instrumento de avaliação bimestral, bem como formalizava um critério de desenvolvimento da pesquisa. Esses procedimentos solidificaram o ponto de culminância desse trabalho, que veio a tornar-se a sequência didática de nossa proposta experimental.

III. ARRANJO EXPERIMENTAL

Nesta seção, abordamos a confecção e aplicação do produto educacional, destacando a necessidade pedagógica.

III.1. Desenvolvimento do produto educacional

A atual geração de estudantes, principalmente àqueles oriundos da escola pública, convive diariamente com os mais diversos tipos de TDIC, porém sem tomar conhecimento dos processos que determinam suas operações e funcionamento. A ideia original da pesquisa versava no estudo de polarização de luz *laser* e seus efeitos, seguido da análise quantitativa da medida de intensidade da radiação polarizada, mediante o uso de um software específico, como proposto na referência (CAVALCANTE, 2005). Porém, com o intuito de tornar mais abrangente o escopo do produto educacional, uma vez que a temática do artigo restringia-se apenas a um fenômeno ondulatório, tomamos uma direção distinta e eficaz em atender à

pesquisa em todos os seus aspectos, sem deixar de aproveitar a ideia fundamental que era a experimentação de conteúdos de FMC. A princípio, formulou-se um conjunto de fatores para instituir o produto final, torná-los curiosos e através desse sentimento fazer com que eles assumissem o protagonismo da aprendizagem.

Inicialmente, mapas conceituais nortearam a discussão dos tópicos de FMC e auxiliaram na identificação de possíveis subsunçores, que puderam ser percebidos através das respostas das perguntas motivadora (pré-teste). Na sequência, o uso de TDIC através dos aplicativos *Physics at School Lite* e *PhET Interactive Simulations* auxiliaram no melhor entendimento de alguns pontos que ainda não estavam claros. Por fim, uma atividade experimental onde o aluno trava contato direto com *lasers*, filtros polarizadores e circuitos elétricos dotados de elementos passivos de eletrônica, concluem a atividade e possibilitam que os discentes possam na prática identificar os fenômenos até o momento discutidos. Vejamos agora os experimentos montados.

III.2. Descrição do experimento

A atividade experimental deveria ser ágil e incentivadora, além de dar acessibilidade a práticas experimentais de baixo investimento financeiro, porém com aproveitamento pedagógico eficaz, tendo como objetivo produzir um material potencialmente significativo voltado para o ensino de FMC. Buscamos então, o emprego de uma montagem experimental de fácil manuseio, combinando pré-requisitos conceituais de *eletromagnetismo* e *fenômenos ondulatórios*, associando-os com os conceitos do *efeito fotoelétrico* e o *comportamento dual da luz*. Para tal, os alunos de cada turma deveriam ser divididos em grupos heterogêneos que seguiram o roteiro da atividade. Inicialmente, eles obteriam imagens dos fenômenos observados com seus *smartphones*, para poder realizar uma análise *qualitativa* dos experimentos.

A montagem do experimento 1 tem como objetivo verificar a polarização da luz e consiste de um feixe de luz monocromática, proveniente de uma ponteira de *laser* e um conjunto polarizador (fig.1). O feixe irá incidir em um LDR (resistor dependente de luz) que irá facilitar a passagem de corrente elétrica contínua, acionando um circuito elétrico composto por um LDR, um LED e um resistor.

Já no segundo experimento, deverão incidir, dessa vez feixes de luz policromática e fontes *laser* de cores distintas sobre um fotodiodo (fig.2). Além desse elemento, irá compor o circuito simples um motor elétrico alimentado por corrente contínua. Será discutida a emissão de luz intensa, direcional e coerente sob a forma de fótons, tais que esses sejam capazes de transportar energia em maior ou menor quantidade, mediante as diferentes frequências luminosas, evidenciando o efeito fotoelétrico e a dualidade partícula-onda da luz.

Uma vez realizada essa atividade inicial, o experimento seria novamente realizado, dessa vez empregando uma montagem automatizada com *arduino*, onde ocorreria uma nova análise *quantitativa* dos mesmos fenômenos.

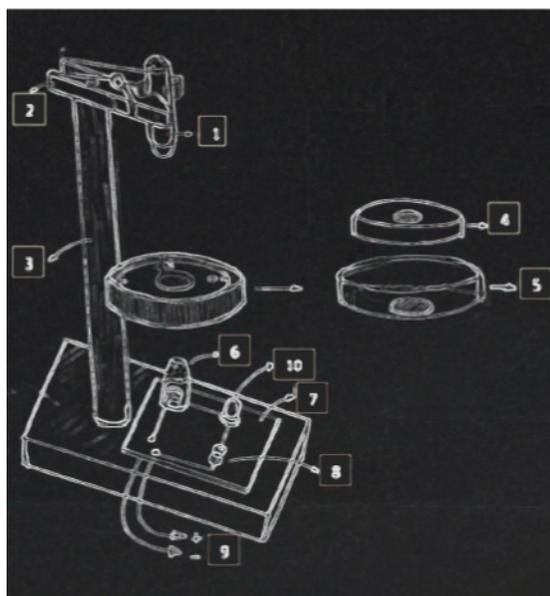


Figura 1: Imagem ilustrando o sistema experimental composto por: ponteira laser (1), pregador de roupas (2), haste de madeira (3), disco polarizador (4), disco analisador (5), LDR com cobertura plástica (tampa de caneta preta) (6), placa de isopor com 8cm × 8cm (7), resistor de 1kΩ (8), fonte de corrente AC/DC DE 5 V (9), LED de alto brilho (10) e fita adesiva (fonte: Autor).

III.3. Automatização do experimento

Com o emprego da tecnologia arduino, buscamos associação dessa com as TDIC que estão ao alcance dos alunos, onde além de podermos utilizá-las com o auxílio de computadores, pode-se executar o *sketch* (programa de carregamento) através de *smartphones* (MONK, 2014), onde os dados quantitativos dos experimentos poderão ser avaliados. Para isso, os alunos deverão possuir o aplicativo *arduinoandroid*, disponível em <https://www.arduinoandroid.info/p/introduction.html> previamente instalado em seu dispositivo, uma vez que esse fornece um *IDE*.

III.3.1 O experimento 1 automatizado

Com base na montagem do experimento 1, um dispositivo automatizado poderá ser construído com a adoção de uma placa de *arduino* NANO, onde será executado o esquema proposto com o conjunto de materiais: um *arduino* NANO, uma *protoboard*, três fios (*jumpers*), um resistor de 10 kΩ, um sensor de luz *LDR*, um cabo *USB – OTG* e a montagem do circuito sugerido (veja fig. 3).

III.3.2 O experimento 2 automatizado

Com base na montagem do experimento 2, um dispositivo automatizado deverá ser construído com a adoção de uma placa de *arduino* NANO, onde será montado o esquema do circuito com o conjunto de materiais: um *arduino* NANO, uma *protoboard*, três fios (*jumpers*), um motor *DC* de 3 V, um disco *encoder* de 20 furos, um fotodiodo, um sensor

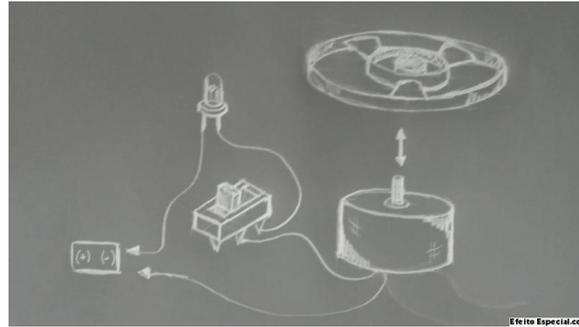


Figura 2: Imagem ilustrando o sistema experimental para ligar o motor com um motor de corrente contínua DC de 3 V, fotodiodo, fonte de energia AC/DC 5 V ou 6 V, chave interruptora liga/desliga e hélice de brinquedo (Fonte: autor).

encoder IR, uma bateria de 9 V com adaptador e um cabo OTG, veja fig.4. Detalhes da programação em arduino pode ser encontrada na referência (LIMA, 2020).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse seção, apresentamos as análises preliminares dos sistemas experimentais, os resultados da análise das respostas atribuídas aos questionários após a realização das atividades experimentais, assim como a diferenciação entre os experimentos padrão e automatizado através de dados experimentais quantitativos.

IV.1. Avaliação das montagens experimentais

Durante o desenvolvimento dos dispositivos automatizados, nossa pesquisa deparou com um dilema: ao trocarmos as cores da luz laser de vermelho para verde e de verde para azul no experimento 2, esperávamos com o experimento que a incidência desses feixes no fotodiodo resultaria em um aumento do número de rotações do motor DC, em função da maior quantidade de energia transportada por intermédio das ondas luminosas (HEWITT, 2011). Entretanto, uma observação pertinente foi levantada: seria a intensidade luminosa a verdadeira responsável por uma maior ou menor velocidade angular do eixo do motor ou as diferentes frequências de luz? Surgiu com essa questão a necessidade de verificarmos experimentalmente essa questão. De posse de um medidor de potência e de uma montagem experimental semelhante à proposta na atividade, efetuamos comparações práticas entre as potências das luzes laser incidentes no fotodiodo versus as RPM obtidas no monitor serial gerado pelo *sketch* do *arduino*. Inicialmente, medimos as potências em miliwatt (mW) e o valor médio das RPM para os lasers verde e azul provenientes das ponteiras comerciais (Tabela 2). A Figura 5 mostra a relação entre as potências e o número de rotações do motor DC para ambos os lasers. É possível observar que o laser azul apresenta maiores valores de rotação, como esperávamos, pois temos um comprimento de onda λ menor e uma frequência ν maior, ou seja, maior energia associada ao fóton.

Na sequência repetiu-se o experimento para os lasers vermelho e verde (Tabela 3). Figura 6 mostra a relação entre as potências e o número de rotações do motor DC para este caso.

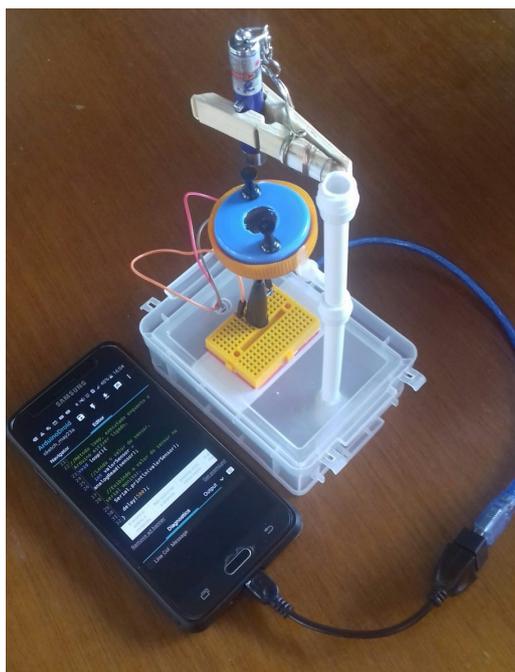


Figura 3: Imagem ilustrando o experimento 1 automatizado com arduino (<https://app.uff.br/riuff/handle/1/16233>).

Tabela 2: Comparação dos dados de potência versus rotação do motor DC (em rpm) para os lasers verde e azul (Fonte: autor).

Potência (mW)	rpm (verde)	rpm (azul)
1,2	585	608
1,3	583	706
1,4	693	731
1,5	749	756
1,6	761	766

É possível observar que o laser verde apresenta maiores valores de rotação, pois temos também um comprimento de onda λ menor e uma frequência ν maior, ou seja, maior energia associada ao fóton. Desta forma, concluímos que a energia das ondas luminosas poderia ser verificada quantitativamente através do experimento 2 automatizado.

IV.2. Análise quantitativa dos questionários

Neste ponto, discutimos os dados coletados ao longo dos dois momentos de aplicação do produto educacional, bem como suas particularidades e como procedemos para que estas não comprometessem, de um modo geral, a análise dos dados coletados.

A primeira aplicação do produto educacional teve orientação meramente qualitativa e foi realizada em duas turmas de 3º ano do ensino médio do Colégio Estadual Professor Ney Cidade Palmeiro, em novembro de 2018. Já a segunda aplicação que ocorreu na mesma unidade de ensino em novembro de 2019, contou com aquisição quantitativa de dados através do sistema automatizado com *arduino*, em duas turmas do 3º ano do ensino médio.



Figura 4: Imagem ilustrando o experimento 2 automatizado com arduino (<https://app.ufr.br/riuff/handle/1/16233>).

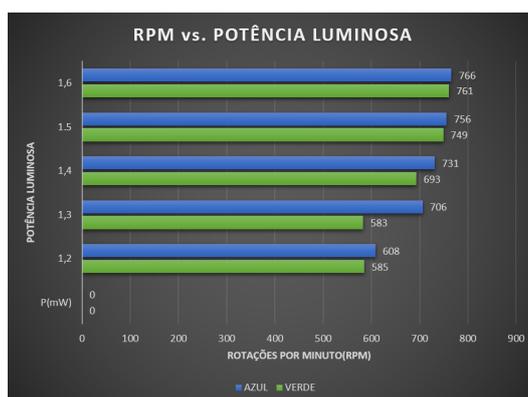


Figura 5: Diagrama de comparação dos dados da potência versus frequência das luzes azul e verde (Fonte: autor).

Para a análise das respostas dos alunos, foram estabelecidas 4 categorias de respostas: satisfatória (RS), parcialmente satisfatória (PS), insatisfatória (IN) e em branco (BR). Veremos esta categorização através de exemplos de respostas apresentadas na primeira aplicação, como segue:

- Categorização de uma pergunta motivadora

1ª pergunta motivadora: *Você já parou pra pensar qual a relação existente entre a dispersão luminosa e as cores que aparecem num arco-íris, em um Compact Disc (CD) e nas bolhas de sabão?*

Resposta satisfatória:

Quando o aluno respondeu que as três situações estão relacionadas com a ocorrência da dispersão luminosa, notabilizada através dos fenômenos luminosos de refração, difração e interferência.

Resposta parcialmente satisfatória:

Se o aluno disse apenas sim.

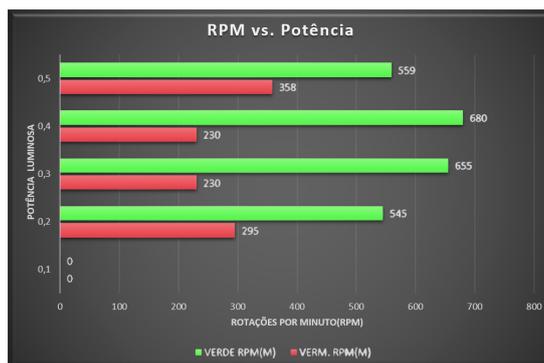


Figura 6: Diagrama de comparação dos dados da potência versus frequência das luzes verde e vermelha (Fonte: autor).

Tabela 3: Comparação dos dados de potência versus rotação do motor DC (em rpm) para os lasers vermelho e verde (Fonte: autor).

Potência (mW)	rpm (vermelho)	rpm (verde)
0,1	0	0
0,2	295	545
0,3	230	655
0,4	230	680
0,5	358	559

Resposta insatisfatória:

Se o aluno disse não.

Nesta etapa, discutimos os diagramas com os resultados da segunda aplicação devido ao fato de ambas aplicações apresentarem resultados semelhantes. Inicialmente, a finalidade dessa análise é verificar como estão os conhecimentos prévios dos discentes através das perguntas motivadoras e, na sequência, apresentamos resultados dos experimentos e da análise da atividade de uma maneira geral.

- Análise das perguntas motivadoras:

1ª Pergunta motivadora (PM1)

A PM1 foi assim proposta: “Você já parou pra pensar qual a relação existente entre a dispersão luminosa e as cores que aparecem num arco-íris, em um Compact Disc (CD) e nas bolhas de sabão?.

De maneira similar à primeira aplicação, o percentual de respostas parcialmente satisfatórias a PM1 foi elevado (fig.7), indicando que existe uma breve noção do conceito de dispersão luminosa.

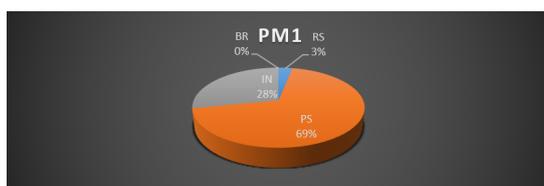


Figura 7: Respostas dadas à PM1 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

2ª Pergunta motivadora (PM2)

A PM2 foi assim proposta: “No contexto dos fenômenos luminosos, você sabe como funcionam o cinema em terceira dimensão (3D) e os óculos que recebemos antes de acessar a sala de projeção?”.

Um percentual um pouco maior atendeu satisfatoriamente à PM2, mais em função do conhecimento dos dispositivos polarizadores presentes no cotidiano dos alunos (fig.8). De uma maneira geral, a captação dos conhecimentos prévios dos estudantes foi muito boa.

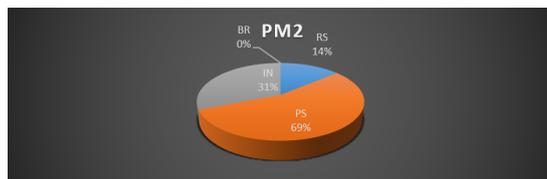


Figura 8: Respostas dadas à PM2 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

3ª Pergunta motivadora (PM3)

A PM3 foi assim redigida: “Os LED são uma realidade tecnológica do nosso cotidiano; na iluminação e em equipamentos eletrônicos. Porém, dentro de sua gênese quântica, eles podem ser considerados simplesmente “lâmpadas em miniatura?”.

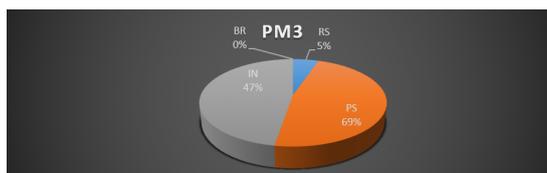


Figura 9: Respostas dadas à PM3 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Os conhecimentos dos alunos sobre LED e outros dispositivos eletrônicos baseados em semicondutores foram parcialmente mostrados na PM3, em um percentual bem mais acentuado em relação à primeira aplicação do produto educacional (fig.9).

4ª Pergunta motivadora (PM4)

Na PM4, foi feita a seguinte proposição: “A partir dos seus conhecimentos do espectro eletromagnético, você saberia diferenciar a luz do Sol que nos ilumina da luz de um feixe de laser?”.

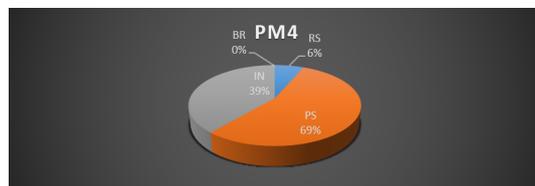


Figura 10: Respostas dadas à PM4 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Dentro da nossa pesquisa, o quantitativo diminuído de respostas satisfatórias dadas à PM4, a respeito das características de um laser em detrimento da luz solar, estava dentro das previsões do trabalho (fig.10). Mesmo assim, os conhecimentos parciais sobre o tema foram bem mais significativos na segunda aplicação.

5ª Pergunta motivadora (PM5)

Nesse diagrama, foi analisada a proposição da PM5, intitulada *Como funciona o acionamento da iluminação pública em sua rua ao anoitecer?*”.

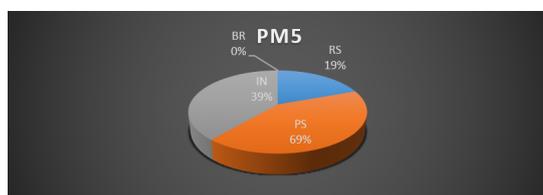


Figura 11: Respostas dadas à PM5 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Nessa nova abordagem da PM5, vê-se uma melhoria do percentual de respostas satisfatórias, associadas a um igual efeito sobre as respostas parcialmente satisfatórias dadas na primeira aplicação do produto (fig.11). Isso evidencia, como um todo, que os conhecimentos prévios dos estudantes podem e devem influenciar positivamente no desenvolvimento da atividade, como amplamente discutido por Ausubel (AUSUBEL, 1993; MOREIRA; MASINI, 2006).

- Análise das respostas às questões experimentais (QE):

Além da atividade experimental propriamente dita, os alunos já haviam feito a aplicação das simulações virtuais com os aplicativos *PhET* e *Physics at School Lite* para verificar conceitos que já haviam sido discutidos através dos mapas conceituais. Com relação as atividades experimentais, os procedimentos foram realizados por 5 cinco grupos de trabalho, mas cada componente, forneceu respostas individuais para as QE1, QE2 e QE3 relativas ao experimento 1. Em seguida, também foram dadas respostas para as QE4, QE5, QE6 e QE7. Foi orientado aos estudantes que participaram da atividade preencher o questionário em anexo após cada uma das observações experimentais, fazendo surgir meios de interação com a aprendizagem, no momento da sua ocorrência, estabelecendo uma sinergia satisfatória com os conhecimentos prévios dos alunos. Em seguida, estabelecemos diagramas para ilustrar o desempenho dos alunos ao responder cada uma das questões experimentais.

1ª Questão experimental (QE1)

Foi proposta aos alunos a QE1, em relação ao experimento 1, com a seguinte redação: *“Ligue o circuito e gire o filtro polarizador de modo a obter o máximo brilho do LED. Marque o ângulo de defasagem em 0° no filtro. O que foi observado?”*.

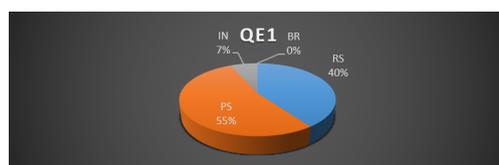


Figura 12: Respostas dadas à QE1 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Nessa QE1 ficou evidenciado que os alunos, em sua maioria, atenderam satisfatoriamente à premissa de que o ângulo de defasagem de 0° permite uma maior passagem de luz *laser*, através dos filtros, para o LDR (fig.12). Especificamente, surge a compreensão que a

intensidade luminosa poderia estar relacionada à corrente elétrica atuante no circuito do experimento 1.

2ª Questão experimental (QE2)

Foi proposta aos alunos a QE2, em relação ao experimento 1, com a seguinte redação: “Ligue o circuito e gire o filtro polarizador de modo a obter o mínimo brilho do LED. Marque o ângulo de defasagem em 90° no filtro. O que foi observado?”.

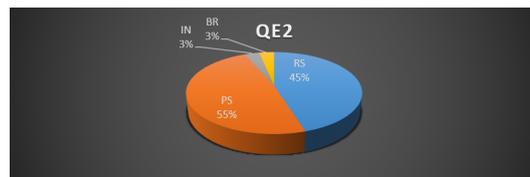


Figura 13: Respostas dadas à QE2 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Nas respostas dos alunos à QE2, houve uma melhoria no percentual daquelas que atenderam satisfatoriamente ao conceito de que o ângulo de defasagem de 90° permite a menor passagem possível de luz *laser* para o LDR (fig.13).

3ª Questão experimental (QE3)

A QE3, última questão do experimento 1, ficou assim proposta: “Estabeleça uma intensidade de 50% na luz transmitida, marcando um ângulo de defasagem de 45° . O que foi observado?”.

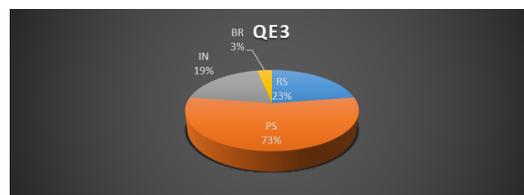


Figura 14: Respostas dadas à QE3 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A compreensão parcial por parte dos alunos que existe um *meio termo* na transmissão da luz *laser* polarizada sob um ângulo de defasagem de 45° dominou o quantitativo de respostas *parcialmente satisfatórias* da QE3 (fig.14). Esse percentual mostra também que alguns grupos apresentaram alguma dificuldade em manusear o experimento, levando a compreender parcialmente esse questionamento.

4ª Questão experimental (QE4)

A QE4 passa a tratar o experimento 2. Ela foi redigida assim: “Uma vez verificado que o motor não apresenta rotação, incida luz branca da lanterna LED do smartphone no fotodiodo e verifique o comportamento do motor. O que foi observado?”.

Com um percentual satisfatório razoável, a QE4 obteve respostas adequadas sobre todos os aspectos, uma vez que todos os alunos compreenderam que o efeito da luz policromática não foi suficiente para provocar alguma rotação no motor, independente da intensidade da luz (fig.15).



Figura 15: Respostas dadas à QE4 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

5ª Questão experimental (QE5)

Ainda analisando o experimento 2, a QE5 foi assim proposta: “O procedimento anterior (QE4) deverá ser repetido com a luz laser vermelha incidindo no fotodiodo, verificando o comportamento do motor. O que foi observado?”.



Figura 16: Respostas dadas à QE5 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A adoção da luz monocromática e coerente do *laser* vermelho no experimento 2 fez com que os alunos respondessem satisfatoriamente à QE5, em sua maioria (fig.16). Já pesava sobre o grupo a compreensão da relação entre a energia transportada pelos fótons e a frequência da onda luminosa.

6ª Questão experimental (QE6)

A QE6 do experimento 2 foi assim proposta: “O procedimento anterior (QE5) deverá ser repetido com a luz laser verde incidindo no fotodiodo, verificando o comportamento do motor. O que foi observado?”.

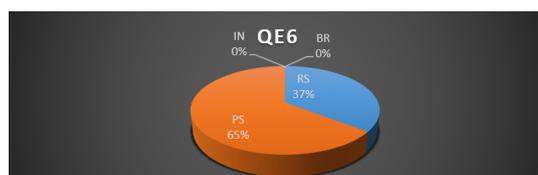


Figura 17: Respostas dadas à QE6 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A utilização da luz *laser* na cor verde no experimento 2 contribuiu para que o percentual de respostas satisfatórias fosse maior na QE6 (fig.17). Embora na primeira aplicação, o *brilho* mais vibrante da luz verde gerou a ideia de ser essa característica (SILVA, 2007), e não a frequência da luz incidente no fotodiodo, o agente responsável pela maior rotação do motor, foi possível esclarecer este ponto na análise quantitativa do experimento automatizado. O diagrama de percepção do olho às cores justifica essa impressão (SILVA, 2007).

7ª Questão experimental (QE7)

Completamos a análise do experimento 2 com a QE7 assim proposta: “O procedimento

anterior (QE6) deverá ser repetido com a luz laser azul incidindo no fotodiodo, verificando o comportamento do motor. O que foi observado?”.



Figura 18: Respostas dadas à QE7 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A interpretação equivocada ocorrida nas respostas da questão anterior foi reprimida no aproveitamento bastante satisfatório da QE7, posto que a frequência da luz laser azul é superior a da verde, mesmo não impressionando tanto a visão humana, como pode ser constatado no Curva Internacional de Luminosidade Espectral Relativa de um Olho Padrão. Essa foi a radiação luminosa onde o motor executou a rotação mais intensa (fig.18).

- Análise das respostas às perguntas avaliativas (RA):

Os diagramas a seguir forçam as análises correspondentes à avaliação do material utilizado para discutir os tópicos de FMC.

1ª Resposta avaliativa (RA1)

A proposição da RA1 era assim descrita: “Ao verificar o fenômeno da polarização da luz laser no experimento 1, quão próximos os resultados teóricos da aplicação da Lei de Malus se aproximaram dos efeitos observados para os ângulos de 0° , 45° e 90° ?”.

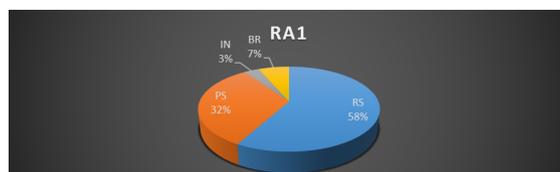


Figura 19: Respostas dadas à RA1 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

As respostas dadas individualmente pelos alunos à RA1 mostraram-se bastante satisfatórias, uma vez que a relação imposta pela Lei de Malus ficou, em grande maioria, compreendida pelos estudantes (fig.19).

2ª Resposta avaliativa (RA2)

RA2 foi assim redigida: “Em que ponto do experimento foi possível observar uma luz policromática como a luz solar responsável pelo “arco-íris?”.

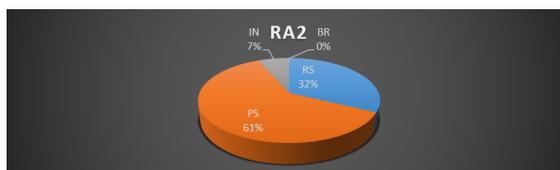


Figura 20: Respostas dadas à RA2 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

Ao observar a luz policromática transmitida através do conjunto de filtros polarizadores componentes do *kit* experimental, os alunos compreenderam parcialmente, em grande maioria, que mesmo a luz branca pode ser polarizada e que ela era similar a luz do Sol (fig.20).

3ª Resposta avaliativa (RA3)

Essa pergunta RA3, foi assim descrita: “Qual fenômeno observado no experimento é responsável pela compreensão do funcionamento dos óculos 3D que você utiliza no cinema? Justifique sua resposta”.

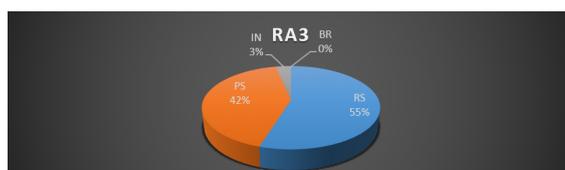


Figura 21: Respostas dadas à RA3 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A grande maioria de respostas satisfatórias mostradas para a RA3 indicam que grande parte do grupo de alunos compreendeu ser a polarização das ondas luminosas o fenômeno responsável pela sensação de profundidade (tridimensional) conferida ao cérebro por tais dispositivos ópticos (fig.21).

4ª Resposta avaliativa (RA4)

Continuamos, analisando a RA4 que foi redigida da seguinte maneira: “Como você pode descrever os sistemas de iluminação pública, uma vez que teve contato com o funcionamento de elementos eletrônicos tais como LED, LDR e fotodiodos?”.

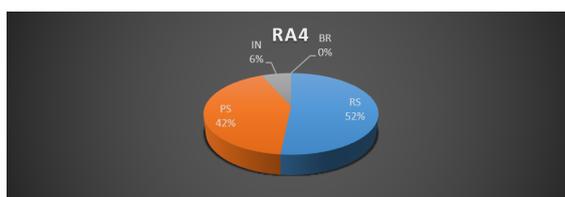


Figura 22: Respostas dadas à RA4 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

A relação estabelecida entre os dispositivos passivos baseados em semicondutores com o efeito fotoelétrico foi satisfatoriamente demonstrada, como visto nos percentuais das respostas da RA4 (fig.22). Essa proposição basea-se principalmente no conhecido fato desse fenômeno independender da intensidade da onda luminosa, e sim de sua frequência.

5ª Resposta avaliativa (RA5)

Concluindo nossa análise, temos a RA5, com a seguinte proposição: “A partir de que grandezas físicas observadas nos experimentos aplicados, você poderá diferenciar as luzes policromática (solar) e monocromática (laser)?”.

Por uma diferença percentual muito pequena, a maioria das respostas dadas à RA5 surtiram parcialmente satisfatórias (fig.23). Entretanto, isso positivamente indica a nova

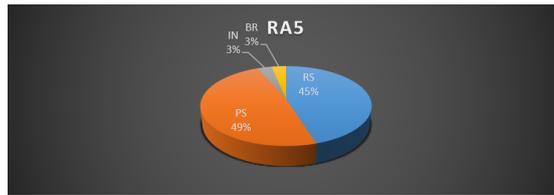


Figura 23: Respostas dadas à RA5 da 2ª aplicação (Fonte: autor).

habilidade adquirida pelos alunos em estabelecer corretamente a diferença entre a luz branca solar incoerente e a luz *laser* coerente, intensa e direcional.

Concluindo nossa análise, os resultados presentes nos diagramas das *perguntas motivadoras* indicaram que os alunos traziam um razoável conhecimento relativo às questões do pré-teste, onde os quantitativos das respostas parcialmente satisfatórias foram superiores a 50% na primeira aplicação e acima de 60% na segunda, assim como ocorreu um baixo percentual de respostas em branco em ambos os momentos. De uma maneira geral, isso denota algo previsível dentro da proposta do trabalho, onde os conhecimentos prévios dos discentes puderam ser relativamente identificados. Também percebeu-se através dos diagramas que as questões experimentais mostraram um maior percentual de respostas satisfatórias em relação ao pré-teste, uma vez que a sintonia entre as informações dos padrões de resposta obtidas nas simulações dos aplicativos *PhET* e *Physics at School Lite*, somados às observações feitas nas atividades experimentais, reforçaram a proposta de *Diferenciação Progressiva* prevista na TAS (AUSUBEL, 1993; MOREIRA; MASINI, 2006). Um ponto relevante a ser observado entre os dois momentos de aplicação, foi onde o grupo de alunos da segunda aplicação demonstrou certa dificuldade em manusear os *kits* experimentais, fato esse que talvez possa ter comprometido o desenvolvimento das respostas de uma ou outra questão experimental, remetendo-nos à necessidade de reforçar a realização de procedimentos experimentais nas aulas de Física, uma característica inerente aos objetivos da ABP. Na abordagem das *respostas avaliativas*, comparando-se os dois momentos da aplicação, a análise dos dados mostrou uma sensível melhoria nas respostas satisfatórias, mesmo com alguma intercorrência nas atividades experimentais durante a aplicação dos experimentos automatizados que, ainda assim, atenderam ao propósito da pesquisa. A parte mais importante é perceber que a *Reconciliação Integrativa* ocorreu como previsto na TAS, posto que houve evolução da percepção dos alunos em relação aos novos conceitos aplicados em nossa sequência didática, demonstrando a fixação cognitiva desses e a geração de novos saberes.

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos o processo de desenvolvimento e aplicação de um produto educacional cujo objetivo era oferecer aos professores e alunos da escola média uma abordagem significativa de conteúdos de FMC. Os resultados dos questionários aplicados demonstraram que o objetivo foi atingido com êxito. De uma forma realmente eficaz, através do emprego de um material didático potencialmente significativo, de fácil aquisição, baixo custo, efetiva aplicabilidade e associado às TDIC, percebeu-se uma clara evolução entre os

dois momentos de aplicação. As aplicações ocorreram nos anos de 2018 e 2019 em uma mesma unidade pública de ensino, com turmas concluintes do ensino médio. A atividade experimental associada ao MPS revelou-se inovadora para os estudantes, que puderam envolver-se em discussões relativas à novos conceitos práticos, como o uso de lasers e dispositivos móveis, assim como programação em microcontroladores *arduino*.

As TDIC foram de vital importância para o emprego do produto educacional, como comentado pelos alunos nas respostas dos questionários, além de ter levado a diversas discussões que auxiliaram a aprofundar o conhecimento sobre tópicos de FMC relacionados a fenômenos comumente observados em nosso cotidiano, como por exemplo, o simples acender de uma lâmpada em um poste de via pública. Além disso, podemos citar os testes realizados em laboratórios que auxiliaram na conclusão de que a frequência da luz interferia na rotação do motor e que um sistema automatizado poderia auxiliar na observação deste resultado.

Podemos ainda citar a dificuldade de alguns discentes de manipular e montar os experimentos, o que demonstrou a importância do docente como mediador da experiência. No entanto, este fato não foi recorrente e o uso do roteiro foi fundamental para que os grupos desenvolvessem a atividade independentemente, ilustrando a importância de um MPS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF - Polo 15 UFF/IFRJ), à Sociedade Brasileira de Física e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento e pela estrutura disponibilizada para a realização do experimento.

REFERÊNCIAS

ANTÔNIO, M.; CALEFI, P. S. Concepções de professores de biologia , física e química sobre a aprendizagem baseada em problemas (ABP). p. 1–8, 2013. 58

AUSUBEL, D. Teoria da aprendizagem significativa. *PELIZZARI, A. et al*, 1993. 50, 66, 71

AUSUBEL, D. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos : Uma*. 1ª. ed. Lisboa: PARALELO EDITORA-PORTUGAL, 2003. 243 p. ISBN 972-707-364-6. 55

BAIRRAL, M. A. As Manipulações em Tela Compondo a Dimensão Corporificada da Cognição Matemática. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática*, v. 10, n. 2, p. 99, 2017. ISSN 2176-5634. 56

BARTHEM, R. *A Luz*. São Paulo-SP: Livraria da Física Editora, 2005. ISBN 9788588325302. 52

CARVALHO, A. B. G.; BLEY, D. P. Cultura Maker e o uso das tecnologias digitais na educação: construindo pontes entre as teorias e práticas no Brasil e na Alemanha. v. 26, n. 10, p. 21–40, 2018. 57

- CAVALCANTE, M. A.; BENEDETTO, A. D. Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio : uma Nova Técnica para a Análise Quantitativa de Espectros. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 437–446, 1999. 57
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R.; GUIMARÃES, D. Construção de equipamentos didáticos para o estudo da polarização intrínseca do LASER. In: *XVI Simpósio Nacional de ensino de Física*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 7–10. 58
- CAVALCANTE M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, 2011. ISSN 01024744. 57
- GASPAR, A. *Experimentos de Ciências*. 1ª. ed. São Paulo-SP: Ática, 2003. ISBN 8508089171. 57, 58
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física 3: Eletromagnetismo*. 3ª. ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 1993. ISBN 8521607059. 53
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de Física 4: Ótica e Física Moderna*. 3ª. ed. Rio de Janeiro-RJ: LTC, 1993. ISBN 8521607083. 53
- HEWITT, P. G. *Física Conceitual*. 11ª. ed. Porto alegre-RS: Bookman Editora, 2011. ISBN 9788577808908. 61
- JORENTE, M. J. V. Impacto das tecnologias de informação e comunicação: Cultura digital e mudanças sócio-culturais. *Informacao e Sociedade*, v. 22, n. 1, p. 13–25, 2012. ISSN 01040146. 56
- LIMA, J. F. d. *O laser e os conceitos de polarização e efeito fotoelétrico em uma abordagem significativa no ensino médio*. Dissertação (Mestrado) — MNPEF-IF/UFF, 2020. 50, 61
- MONK, S. *Projetos com Arduino e Android*. 1ª. ed. Porto alegre-RS: Bookman Editora, 2014. ISBN 9788582601211. 60
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, Organizadores prévios, Mapas conceituais, Diagramas V e Unidades de ensino potencialmente significativas. *Revista Currículum, La Laguna*, v. 25, p. 29–56, 2012. ISSN 2175-8042. 56
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. *Aprendizagem Significativa- A Teoria de David Ausubel*. 2ª. ed. São Paulo-SP: Centauro, 2006. 114 p. ISBN 9788588208766. 50, 55, 56, 66, 71
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: Volume 3 - Eletromagnetismo*. 1ª. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 2002. ISBN 85-212-0298-9. 51, 53
- RAMOS, D. *Uma proposta para demonstrações experimentais no ensino de Física: roteiro de experimentos de baixo custo*. Uberlândia-MG: [s.n.], 2018. 40 p. 49
- RODITI, I. *Dicionário Houaiss Física*. [S.l.]: Objetiva, 2005. 264 p. ISBN 9788573026948. 51, 53
- SEEDUC. Currículo mínimo 2012. 2012. 49
- SILVA, M. F. d. Esclarecendo o significado da "cor" em física. *A Física na Escola*, v. 8, n. 1, p. 25–26, maio 2007. 68

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. *FÍSICA MODERNA*. 6^a. ed. Rio de Janeiro-RJ: GEN LTC, 2014. ISBN 9788521626077. 54