



UMA PROPOSTA COM ARDUINO PARA INVESTIGAR A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DA LUZ

A PROPOSAL WITH ARDUINO TO INVESTIGATE THE WAVE-PARTICLE DUALITY OF LIGHT

Resumo

Neste trabalho investigamos as concepções de alunos da 3ª série do Ensino Médio sobre a natureza da Luz. Para acessar o entendimento destes alunos sobre luz, aplicamos questionário dissertativo onde os alunos tiveram 55 minutos para descrever sobre o assunto. O resultado mostrou que os alunos apresentaram respostas diversificadas, mas com concepções similares. Entretanto, nós identificamos que 98% dos sujeitos investigados apresentam modelos primitivos acerca da natureza da luz. Para intervir neste resultado, aplicamos uma sequência didática ancorada na abordagem investigativa a partir da metodologia de laboratório aberto a fim de modificar as concepções dos alunos sobre luz. Nós construímos um conjunto de experimentos didáticos de baixo custo como uma prática educacional. Para esta finalidade, nós utilizamos a plataforma Arduino para o controle e interfaceamento com o computador. E, investigamos como as práticas experimentais promoveram a mudança de conceitos de dualidade onda-partícula da luz com mesmo questionário. Nossos resultados mostraram que os alunos passaram a explicar a natureza da luz usando ou um modelo eletromagnético corpuscular ou um modelo eletromagnético dual, mas nenhum estudante usou o modelo primitivo. Podemos concluir que a metodologia utilizada neste trabalho contribuiu positivamente para o processo de aprendizagem dos alunos.

Palavras-Chave: Física Moderna, Dualidade onda-partícula, Ensino de Física, Arduino.

Abstract

In this work we have investigated the conceptions of 3rd grade high school students about the nature of Light. To access the understanding of these students about light, we applied an essay questionnaire where students had 55 minutes to describe the subject. The result showed that the students presented diversified answers, but with similar conceptions. That is, we identified that 98% of the subjects investigated present primitive models about the nature of light. To intervene in this result, we applied a didactic sequence anchored in an open laboratory methodology to modify the student conceptions about light. We built a set of low-cost teaching experiments as an educational practice. For this purpose, we use the Arduino platform to control and interface with the computer. And we investigated how the experimental practices promoted the change of wave-particle duality concepts of light with the same questionnaire. Our results showed that students went on to explain the nature of light using either a corpuscular electromagnetic model or a dual electromagnetic model. Additionally, no student used the primitive model. In summarizing, the methodology used in this work contributed positively to the students learning process.

Keywords: Modern Physics, Wave-particle duality, Teaching Physics, Arduino.

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 1950, a eletrônica está se desenvolvendo e isto permitiu a fabricação de dispositivos eletrônicos e sensores. E, como consequência, os processos de aquisição de dados experimentais estão automatizados com auxílio de computadores e microcontroladores (CARDOSO et al., 2014 e ANDRADES et al., 2013) incluindo também projetos para fins didáticos (STUCHI et



al., 2019, SILVEIRA E GIRARDI, 2017, SOLINO; FERRAZ E SASSERON, 2015). E nas últimas décadas surgiram alternativas de baixo custo como placa Arduino onde o uso pedagógico altera a dinâmica escolar porque possibilita a interdisciplinaridade ou multidisciplinaridade (CAVALCANTE et al., 2011, LAUDARES et al., 2014, MOURÃO, 2018 e OLIVEIRA et al., 2020).

A placa Arduino se baseia em um microcontrolador de código aberto, é versátil com diversas funções, interface simples para aquisição de dados em tempo real e pode despertar a curiosidade dos estudantes, estimular a investigação, o gosto pela pesquisa e a associação da teoria com a prática quando as atividades práticas estão bem estruturadas. Para METZGER et al. (2017), a atividade prática em conjunto com o pensamento computacional possibilita a criatividade, inventividade e produtividade daqueles que aprendem e, também, proporciona aos estudantes protagonismo no desenvolvimento do seu próprio conhecimento. Estes pressupostos estão inseridos na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel.

Na aprendizagem significativa, as ideias são expressas simbolicamente e devem interagir de maneira substantiva e não-arbitrária com o conhecimento já estabelecido do aprendiz. Em outras palavras, a aprendizagem significativa é o processo pelo qual o estudante associa o conhecimento adquirido ao conhecimento já existente, a fim de estabelecer relações significativas entre os dois. Esta associação é realizada com base na compreensão e na significância, não na memorização apenas. Assim, para promover a aprendizagem significativa, os professores devem apresentar o material de estudo de forma organizada, com base nas ideias-âncora já existentes na mente do aluno. O professor também deve fornecer exemplos e analogias para auxiliar na compreensão e assimilação do conteúdo. Além disso, é importante que o professor estimule a reflexão e a autoavaliação do aluno com exercícios e discussões.

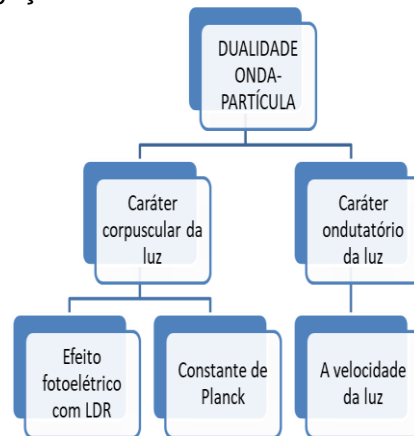
Neste contexto utilizamos a tecnologia Arduino para avaliar a concepção da propriedade e natureza da luz em alunos da 3ª. série do Ensino Médio de uma Escola Pública. Nós elaboramos roteiros experimentais para revelar as características da Luz e avaliamos a evolução do conceito pelos alunos. Neste trabalho, nós avaliamos os resultados qualitativamente, a partir de uma abordagem didática investigativa, para permitir o professor investigar a ação e interação dos alunos em sala de aula no desenvolvimento de temas de física moderna (SOLINO, 2015). Nós trabalhamos com a perspectiva de laboratório aberto na qual o ensino está diretamente relacionado à estruturação das atividades propostas e aos graus de abertura dos problemas. E a partir desta perspectiva, avaliamos os alunos na busca por solução através de prática experimental (AZEVEDO, 2004). Nosso objetivo principal foi verificar modelos sobre propriedade e natureza da luz para de 3ª. Série do Ensino Médio em uma escola pública do Espírito Santo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa os sujeitos de pesquisa foram 61 estudantes de 3ª. Série do Ensino Médio em uma escola pública do Espírito Santo para acessar o entendimento acerca da natureza da luz. Para esta finalidade, aplicamos um questionário a pergunta “O que é a luz?” (COELHO, 2010) para identificar em quais modelos os estudantes se encaixavam. Após a nossa sequência didática, reaplicamos o questionário. Cada aluno teve 55 minutos para dissertar na folha de papel A4, sem qualquer consulta a quaisquer bibliografias. Em seguida, realizamos uma aula expositiva descrevendo a evolução histórica do pensamento à cerca da propriedade e natureza da luz. Na aula seguinte, organizamos os estudantes em grupos para execução de quatro práticas experimentais em aulas distintas e solicitamos que os grupos fizessem diários de bordo sobre a preparação e execução de quatro roteiros experimentais. Consideramos que a metodologia corresponde a abordagem de Laboratório Aberto conforme AZEVEDO (2004). A proposta dos experimentos seguiu o seguinte fluxograma:



Figura 1: Interligação dos conceitos de dualidade onda-partícula.



Fonte: Próprios autores.

Nós orientamos os alunos a criar planos para realizar as práticas e ao final de cada prática executada recolhemos os registros de cada grupo. Os kits experimentais são descritos resumidamente a seguir.

Prática 1 (segunda aula): O kit experimental 1 (ver Figura 1) foi utilizado para verificar a absorção e a emissão de radiação por um corpo metálico com seguintes componentes: retroprojetor (lâmpada incandescente cuja potência foi de 300W), duas latas de alumínio de dimensões iguais onde uma foi pintada de cor branco e a outra de cor preto, dois sensores de temperatura LM35, microcontrolador Arduino, tela LCD e cronômetro digital (Stopwatch – ZSD-808). Em cada lata anexamos o sensor de temperatura LM35 que conectamos a placa de Arduino Uno que enviava os dados de temperatura para uma tela LCD do tipo JHD 162A de 16 colunas e 2 linhas. Com o sistema em funcionamento cada grupo fez o registro de suas observações.

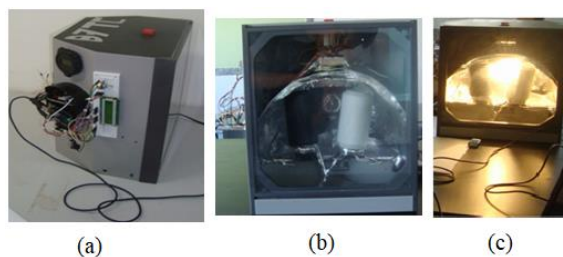


Figura 2: Kit experimental 1 para avaliar a absorção e a emissão de radiação por um corpo metálico. (a) Centro da imagem está a tela LCD 16x2 para o registro da temperatura, à esquerda imagem a placa Arduino Uno e na parte superior o cronômetro digital. (b) Detalhes do interior do reprojektor com as duas latas de alumínio que estão equidantes da lâmpada incandescente. (c) Funcionamento do kit experimental.

Prática 2 (terceira aula): Nesta aula utilizamos um forno microondas com tensão de operação de 110V e frequência $f = 2,450$ MHz, régua milimetrada e papel de fax (kit experimental 2). Para execução, um aluno retirou o prato giratório, colocou o papel de fax no interior do forno, ajustou o timer para 15s. Se não surgisse qualquer alteração no papel fax, orientamos o aluno a adicionar



mais 15 s. Quando surgiu manchas escuras no papel, o aluno retirou a folha e mediu as distâncias entre as manchas. Tal procedimento foi realizado por todos os grupos que repetiram o experimento cinco vezes e, através da média aritmética, determinaram o valor mais provável da velocidade da luz no ar através da relação $v = \lambda f$. Cada grupo também registrou as observações do fenômeno físico.

Prática 3 (quarta aula): Para esta aula o kit experimental 3 teve os seguintes componentes: cabo USB-microUSB, notebook, Módulo Sensor de Luz e Luminosidade LDR, placa MicroArduino, fios jumpers e um tubo de cartolina na cor preto. O detalhe da montagem está registrado na Figura 3. Cada grupo de estudante conectou o cabo USB ao notebook abriu a IDE do Arduino e, através Monitor Serial, observar e anotar os valores de resistência elétrica. Um estudante bloqueou a entrada de luz pelo tubo com auxílio de um pedaço de cartolina preto (ver Figura 3). E, por fim, o grupo registrou novamente o valor da resistência elétrica e sua observação.

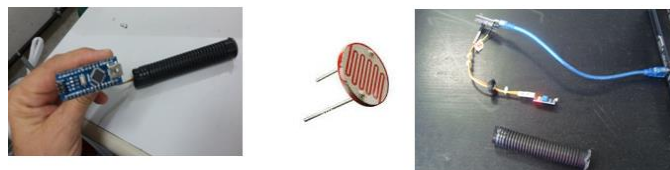


Figura 3: Kit experimental 3 para avaliar a variação da resistência elétrica em função da luminosidade. No centro da imagem está destacado o componente eletrônico LDR.

Prática 4 (quinta aula): Os componentes deste kit experimental foram 3 LEDs de 4 cores diferentes (amarelo, azul, verde e vermelho), potenciômetros, resistor de 330Ω , pilha de 6V, potenciômetro, fios para o arranjo experimental, placa MicroArduino e o módulo sensor Medidor de Tensão DC (0-25V). Os alunos pesquisaram na internet os valores de comprimento de onda dos LEDs e anotaram numa tabela. Cada grupo ligou o seu dispositivo e variou o potenciômetro de cada LED até o limiar para acendê-los. Os grupos repetiram o procedimento 5 vezes e registraram na tabela o valor médio da V_{limiar} . E depois disto, cada grupo construiu um gráfico de V_{limiar} versus frequência f do LED. E eles calcularam o coeficiente angular e o coeficiente linear. Através do coeficiente angular determinaram a constante de Planck.

$$V_{limiar} = \frac{h}{e} f.$$

onde $e = 1,6 \times 10^{-19}C$ e $h = 6,62607015 \times 10^{-34}J.s$. Os estudantes compararam a equação anterior e com a função linear ($y = ax + b$) para obter o valor da constante de Planck.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultado do Pré-teste

No primeiro momento avaliamos os conhecimentos prévios dos alunos a respeito da natureza da luz através do questionário com uma única pergunta (O que é a luz?). As respostas foram diversificadas, mas com concepções similares e nós as classificamos segundo os modelos proposto COELHO (2010) conforme Anexo I.



Os estudantes reconhecem que a luz pode se comportar de duas formas diferentes. Nessa perspectiva, eles admitem a existência de duas teorias que explicam o comportamento da luz. Comportamentos esses que, em algumas circunstâncias é explicado pelo modelo ondulatório eletromagnético e modelo corpuscular com a hipótese do fóton.

Os resultados mostraram 60 alunos encontravam-se no Modelo 1 e 1 (um) aluno classificado no Modelo 2. Este resultado indicou que estes alunos apresentavam conceito primitivo da natureza da luz. Ressaltamos que a natureza e propriedade da luz está no currículo da rede Estadual como conteúdo a ser trabalhado, dentro de Física Moderna, no segundo ano do Ensino Médio. Assim, nosso levantamento identificou que há uma necessidade de formação continuada para os professores de Física ou de um material de apoio que colabore para a efetivação do conteúdo que aborde Física Moderna para os alunos, mais especificamente sobre o comportamento dual da luz. Para intervir neste resultado, aplicamos a nossa sequência didática a fim de modificar as concepções dos alunos acerca da natureza da luz.

3.2 Resultados das Práticas Experimentais

Nós organizamos os alunos em grupos para executar quatro roteiros experimentais e pedimos para que registrarem as observações dos fenômenos e fazer discussão entre si. Ao final da prática recolhemos os manuscritos para avaliação onde nós categorizamos e classificamos quanto à qualidade das suas produções. Nós avaliamos os registros segundo domínio conceitual e os planos descritos pelos grupos de alunos e foram qualificados como Plano Bom (B), Plano Incipiente (I) e Plano Satisfatório (S) conforme a categorização descrita por AMBRÓZIO (2014). Considerando estes critérios, classificamos as anotações dos grupos que estão resumidos na Tabela 2.

Grupos	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Constante de Planck	B	B	S	S	S	B	B	S	S	S
Efeito Fotoelétrico	B	B	S	S	S	B	B	S	S	S
Radiação de "Corpo Negro"	B	B	S	S	S	B	B	S	I	S
Velocidade da Luz	B	B	I	S	S	B	B	S	I	S

Tabela 2: Qualidade dos planos em cada experimento realizados pelos estudantes.

Fonte: Próprios autores.

Identificamos, quanto à qualidade dos planos, que a maioria dos grupos de alunos (G) que a maioria dos grupos de alunos encontram-se classificados em Satisfatório (S) para os planos de investigação estabelecidos para os experimentos sobre a Velocidade da Luz, a Radiação de Corpo Negro, Medida da Constante de Planck e o Efeito Fotoelétrico. Nós observamos que apenas dois grupos foram classificados como incipientes (I) para o plano de investigação do experimento sobre a Velocidade da Luz e um grupo para a Radiação de Corpo Negro. Estes grupos demonstram falta de interesse pelas aulas práticas e que esses primeiros encontros não foram suficientes para modificar essa sua relação com a disciplina. Os grupos que tiveram seus planos classificados como bons (B) são compostos por alunos que apresentavam bom desempenho na disciplina de Física e não houve dificuldade para executar seus planos de investigação, embora a proposta foi considerada inovadora para eles.

Em seguida, avaliamos os planos quanto aos aspectos de dimensão conceitual que os alunos utilizaram para a resolução das atividades investigativas. Classificamos as respostas



elaboradas pelos estudantes como Corretas (C), Parcialmente Corretas (P) e Incorreta (I), conforme também está descrito por AMBRÓZIO (2014). Isto nos permitiu verificar a qualidade dos planos, a quantidade de grupos de alunos que mais se aproximaram de uma resposta correta e ainda a qualidade de suas respostas ao demonstrarem soluções para os problemas que se aproximavam dos conceitos corretos segundo o ponto de vista científico escolar. Os resultados estão resumidos na Tabela 3.

Experimentos	Grupos									
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10
Constante de Planck	C	C	C	P	C	C	C	P	P	C
Efeito Fotoelétrico	C	C	C	P	P	C	C	P	P	P
Radiação de "Corpo Negro"	C	C	C	P	C	C	C	P	P	C
Velocidade da Luz	C	C	P	C	C	C	C	C	P	C

Tabela 3: Solução do Problema em cada experimento.

Fonte: Próprios autores.

Os resultados indicaram que 67,5 % dos grupos apresentaram respostas corretas (C). Isto indica que a metodologia utilizada permitiu que os alunos pudessem compreender os conceitos dos fenômenos estudados. Por outro lado, 32,5% dos grupos apresentando respostas parcialmente corretas (P). Segundo AMBRÓZIO (2014), este resultado indica que os alunos ainda não têm consolidado os conceitos físicos, ou seja, este grupo de alunos ainda estão em processo de sedimentação do conhecimento. Este processo torna-se completo, segundo a teoria vygotskyana (VYGOTSKY, 1998) quando o aluno avança em sua zona de desenvolvimento proximal e passa para uma nova etapa, ou um novo conhecimento.

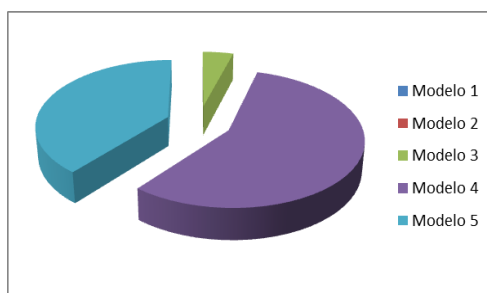
3.2 Resultados pós-teste

Ao final da sequência didática, aplicamos novamente o questionário dissertativo sobre "O que é a luz?" Mais uma vez, não houve nenhuma interferência nossa parte para os alunos pudessem descrever sobre a natureza da luz. A seguir destacamos fragmentos dos textos.

"A luz possui dois tipos de comportamento: como onda eletromagnética e como partícula. [...] A luz é uma onda eletromagnética, pois não necessita de um meio para se propagar. [...]". (detalhamento do aluno F).

Ressaltamos que no início dessa pesquisa 98,4% dos alunos encontravam-se no modelo 1 e 1,6% no modelo 2. Entretanto, após a sequência didática, identificamos uma alteração significativa no percentual de alunos descrever com outros modelos para descrever a natureza e propriedade da luz. Isto sugere indícios que houve aprendizagem. Nesta última etapa da pesquisa observamos que 4,3% estão no modelo 3, 56,6% estão no modelo 4 e, por fim, 39,1% estão associados ao modelo 5, ver Figura 4.

Figura 4: Classificação das respostas do pós-teste de cada aluno.



Fonte: Próprios autores.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossa análise preliminar nos permitiu identificar que aproximadamente 98% dos sujeitos investigados apresentam modelos primitivos da luz. Entretanto, após aplicação de nossa sequência didática, identificamos uma mudança de compreensão da natureza da luz, pois encontramos outros modelos idealizados pelos alunos indicando um protagonismo do estudante na elaboração dos sobre a Natureza da Luz. Apesar da mudança expressiva para os modelos cientificamente apropriados para o comportamento da luz, ainda encontramos uma porcentagem dos estudantes construindo “modelos híbridos” (COELHO, 2010).

A partir das práticas vivenciadas com os experimentos propostos, constatamos que os conhecimentos prévios variaram de acordo com cada aluno e isto exigiu do professor uma mediação que pudesse estimular o aluno a construir um conhecimento novo. Nesse processo também percebemos como a mediação do professor no processo de desenvolvimento do conhecimento científico para os alunos é fundamental (VYGOTSKY, 1998; MORREIRA, 2011) pois é na relação aluno versus disciplina, mediada pelo professor, que instiga e provoca o aluno a buscar novos conhecimentos que a aprendizagem significativa pode ocorrer.

Outro aspecto que destacamos como fundamental para o sucesso das aulas práticas foi o uso metodológico do laboratório aberto, pois favoreceu o desenvolvimento da aprendizagem significativa, permitindo aos alunos compreender os conceitos dos fenômenos estudados, além de ter se demonstrado evidente o maior interesse dos estudantes sobre a disciplina de Física. Concluímos que a sequência didática ancorada na perspectiva do Ensino por Investigação, desenvolvida com os estudantes do 3ª Série do Ensino Médio alcançou seu objetivo, bem como a inserção de experimento de baixo custo, usando “microcontroladores”, auxiliou na modificação dos modelos sobre natureza da luz.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a agência de fomento CAPES por custear a bolsa de estudos e a Secretaria Estadual de Educação do Espírito Santo (SEDU-ES). E modo particular, os autores agradecem o Prof. Dr. Giuseppe Gava Camiletti pelas orientações e discussões acerca deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AMBRÓZIO, R. **Uma Intervenção Educacional com Enfoque no Ensino por Investigação: Abordando as Temáticas Termodinâmica e Óptica**. 2014. 88f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.



ANDRADES, J. C.; SCHIAPPACASSA, A.; DOS SANTOS, P. F. Desenvolvimento de um periodímetro microcontrolado para aplicações em física experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2503 (2013). <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000200023>.

AZEVEDO, M. C. P. S. **Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.

CARDOSO, H. C.; PILON, J.; OLIVEIRA, H. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. T. Novas tecnologias no ensino de Física: a construção de um termômetro utilizando microcontroladores. In **Anais do 4º Seminário de Pesquisa, Extensão e Inovação do IFSC**, 2014. <http://eventoscientificos.ifsc.edu.br/index.php/sepei/sepei2014/schedConf/presentations>. Acesso em 19/05/2020.

CAVALCANTE, M. A., TAVOLARO, C. R. C. E MOLISANI, E. (2011). Física com Arduíno para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 33 (4), 4503-1 – 4503-9.

COELHO, G. R. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**. V. 27, n. 1: p. 63-87, (2010). <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2010v27n1p63>.

LAUDARES, F. A. L.; CRUZ, F. A. O.; CRUZ, T. G. da; BIGANSOLLI, A. R. Instrumentação para Ensino de Física da UFRuralRJ: experiências docentes para a introdução tecnológica. **Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria**. Vol. 7, Nº 1, 51-58 (2014). http://refiedu.webs.uvigo.es/num_es.htm.

METZGER, J. P.; RAABE, A. L.A.; SANTANA, A. L. M.; GOMES, E. B.; SOUZA, F. T. DE; RAMOS, G. L.; CUCCO, L. A.; VIEIRA, M. F. V. Características do Pensamento Computacional Desenvolvidas em Aprendizes do Ensino Médio por meio de Atividades Makers. In XXIII Workshop de Informática na Escola, p. 1-10, 2017. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/16250>. Acesso em 25/12/2022.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. 2. Ed. Ampl. São Paulo: UPU, 2011.

MOURÃO, O. **Uso da Plataforma Arduino como uma Ferramenta Motivacional para a Aprendizagem de Física**. 2018. 221f. Dissertação de Mestrado. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, UVA/IFCE.

OLIVEIRA, I. N.; RAMOS, J. A. P.; SILVA, W. L.; CHAVES, V. D.; MELO, C. A. O. de. 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). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0105>.

SILVEIRA, S., GIRARDI, M. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39, nº 4, e4502 (2017). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0287>.



Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília
Instituto de Física
12 a 16 de dezembro de 2022

100 anos de Darcy Ribeiro

SOLINO, A. P.; FERRAZ, A. T.; SASSERON, L.H. Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares. Uberlândia/MG. In: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2015. Uberlândia/MG. Caderno de resumos. Disponível em: <https://www.cecimig.fae.ufmg.br/images/SolinoFerrazeSasseron2015.pdf>. Acesso em 09/06/2020.

SOUZA, A. R. de; PAIXÃO, A. C.; UZEDA, D. D.; DIAS, M. A.; DUARTE, S.; Amorim H. S. de. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1702 (2011). <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000100026>.

SOUZA, A. R., PAIXÃO, A. C., UZEDA, D. D., DIAS, M. A., DUARTE, S. E AMORIM, H. S. (2011). A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, 33 (1), 1702-1- 1702-5.

VYGOTSKY, LEV SEMYONOVITCH. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1998.



Anexo I

Características dos modelos e submodelos encontrados nas respostas de cada grupo (COELHO, 2010).

Características	
Modelo 1	Modelo primitivo
Modelo 1.1	Os estudantes apresentam suas ideias de uma forma pouco inteligível. Alguns não reconhecem a luz como entidade física, mas se referem a ela como uma substância ou “alguma coisa” que é emitida por uma fonte luminosa. Os estudantes fazem distinção entre as diferentes formas de manifestação da luz, como, por exemplo, “luz ambiente” e “luz elétrica”. Nesta categoria, também foram incluídas as respostas nas quais os estudantes associam a luz solar a processos vitais.
Modelo 1.2	Os estudantes, ao explicitarem suas ideias, admitem que a luz é constituída de raios ou de ondas. Nessa perspectiva, essas representações, que são utilizadas para falar da luz, são interpretadas como simples cópias da realidade. Alguns estudantes, ao se referirem à onda, associam a forma de propagação no meio a uma perturbação ondulatória produzida em uma corda.
Modelo 1.3	Os estudantes referem-se às propriedades da luz (propagação retilínea, velocidade de 300.000 Km/s) ou citam alguns fenômenos (interferência, reflexão, difração, transmissão, dispersão da luz branca). Foram incluídas, nessa categoria, as respostas nas quais os estudantes focaram no processo de emissão da luz.
Modelo 2	Luz como partícula ou luz como onda
Modelo 2.1	Nesta categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que reconhecem a luz como se fosse constituída de partículas. No entanto, esse modelo corpuscular não utiliza a hipótese dos fótons proposta por Einstein.
Modelo 2.2	Nesta categoria foram incluídas as respostas dos estudantes que definem a luz lançando mão do modelo ondulatório. Entretanto, esse modelo ondulatório não é o idealizado pela teoria eletromagnética proposto por Maxwell.
Modelo 3	Variações dos modelos eletromagnético, corpuscular ou dual da luz
Modelo 3.1	Os estudantes lançam mão dos modelos científicos (modelo ondulatório eletromagnético, o corpuscular com a hipótese do fóton ou modelo dual) para falar sobre a luz, mas as suas respostas apresentam elementos de erro ou se apresentam de maneira incompleta em relação às dimensões desses modelos.
Modelo 3.2	Ao expressarem o seu entendimento sobre o comportamento dual da luz, os estudantes não conseguem reconhecer a distinção entre os modelos ondulatório e corpuscular, sendo estes vistos como um só. Eles apresentam “modelos híbridos” da luz, associando simultaneamente elementos dos dois modelos.



Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília
Instituto de Física
12 a 16 de dezembro de 2022

100 anos de Darcy Ribeiro

Modelo 4	Luz como onda eletromagnética ou constituída por fótons
Modelo 4.1	Os estudantes lançam mão do modelo ondulatório eletromagnético idealizado por Maxwell no final do século XIX para falar da luz.
Modelo 4.2	Os estudantes lançam mão do modelo corpuscular, com a hipótese do quantum de energia, que foi idealizado por Einstein no início do século XX e utilizado por ele para explicar o efeito fotoelétrico.
Modelo 5	Luz apresentando um comportamento dualístico
	Os estudantes reconhecem que a luz pode se comportar de duas formas diferentes. Nessa perspectiva, eles admitem a existência de duas teorias que explicam o comportamento da luz. Comportamentos esses que, em algumas circunstâncias é explicado pelo modelo ondulatório eletromagnético e modelo corpuscular com a hipótese do fóton.