

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENSINO EM CIÊNCIAS  
NATURAIS**

**O CARÁTER CORPUSCULAR DA RADIAÇÃO ATRAVÉS DO  
EFEITO FOTOELÉTRICO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA**

**CLÉIA NEVES BUENO**

*Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências Naturais, na área de concentração Ensino de Física.*

**Prof. Dr. FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO**

Orientador

**Cuiabá/MT**

**2019**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

B928c Bueno, Cléia Neves.  
O caráter corpuscular da radiação através do efeito fotoelétrico: uma proposta didática / Cléia Neves Bueno. -- 2019  
53 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: DOUTOR FREDERICO AYRES DE OLIVEIRA NETO.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Ciências Naturais, Cuiabá, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Ensino de Física. 2. Afetividade. 3. Caráter

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS  
Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367 - Boa Esperança - Cep: 78060900 - CUIABÁ/MT  
Tel : (65) 3615-8725 - Email : ppgecn.ufmt@gmail.com

## FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO : "O caráter corpuscular da radiação através do efeito fotoelétrico: uma proposta didática"**

AUTORA : Mestranda Cléia Neves Bueno

Dissertação defendida e aprovada em 22/07/2019.

Composição da Banca Examinadora:

---

Presidente Banca / Orientador    Doutor    Frederico Ayres de Oliveira Neto  
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Interno    Doutora    Débora Eriléia Pedrotti Mansilla  
Instituição : UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

Examinador Externo    Doutora    Geison Jader Mello  
Instituição : Instituto Federal de Mato Grosso

CUIABÁ, 22/07/2019.

Dedico a quem me trouxe amor e afeto necessários para superação. Com muito amor, à minha mãe, meu filho e meu sobrinho.

## AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento à Deus, primeiramente, por me permitir chegar até aqui. Pela saúde e força que pude receber em cada dia ao nascer do Sol. Por me sentir amparada em momentos de conflitos.

Agradecimentos à minha família e amigos pelo apoio incondicional em todo o caminho e por aprenderem a conviver mais distantes em tantos momentos que foram necessários. Por viverem com minha falta, e mesmo assim, nunca serem ausentes.

Aos parentes, professores e amigos (*in memoriam*) que estão presentes nas sementes que plantaram com amor e carinho em minha jornada, e que, hora ou outra florescem, enchendo meu coração de amor e saudade, enquanto minha jornada ainda continua.

Gratidão aos meus colegas do IFMT – Campus Cuiabá que auxiliaram em tantos momentos, dividindo tarefas e obrigações no ambiente de trabalho, dessa forma, contribuindo para minha formação.

Aos meus queridos alunos, que se fizeram presentes em cada linha escrita nesse trabalho, com seus olhares sedentos de curiosidade, de prazer por participarem dessa jornada. Que foram minha energia para seguir na construção desse trabalho de forma tão prazerosa e determinada.

Aos meus professores, que foram fundamentais para meu crescimento intelectual, que depositaram confiança e credibilidade em cada momento de difícil acomodação e cooperaram com cada degrau que eu pude atingir em minha vida.

Em especial, minha imensa gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Frederico Ayres de Oliveira Neto com quem eu pude construir esse trabalho enriquecedor. Gratidão à Deus, por ser sua orientanda, pelo crescimento cognitivo que me propiciou com tanta prontidão e humildade, por cada nó que me ajudou a desatar e, pelo afeto no Ensino de Física que dividiu comigo.

*Então Deus disse: “Que haja luzes na vastidão dos céus para fazerem separação entre o dia e a noite e eles servirão de sinais para marcar épocas, dias e anos.*

*Gênesis 1:14*

*Baila o trigo quando há vento  
Baila porque o vento toca  
Também baila o pensamento  
Quando o coração provoca.*

*Fernando Pessoa.*

## RESUMO

BUENO, C. N. **O caráter corpuscular da radiação através do efeito fotoelétrico: uma proposta didática.** Cuiabá, 2019. Dissertação - Programa de Pós-Graduação de Ensino de Ciências Naturais Instituto de Física - Universidade Federal de Mato Grosso.

A utilização de tecnologias pelos estudantes tem mostrado cada vez mais a importância de utilizarmos no ensino de física estratégias onde o conteúdo a ser estudado, ou parte dele, esteja contemplado em objetos que estão presentes na vivência de nossos alunos. Um olhar com mais ênfase a Física Moderna, desvincula o aluno de uma Física Clássica, muito enfática por décadas, permitindo um olhar direcionado para outras possibilidades e com novas soluções. Nesse objetivo, a presente dissertação apresenta uma proposta didática sob o tema Efeito Fotoelétrico, aplicada em duas turmas de Ensino Médio Integrado, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Compreender o caráter corpuscular da radiação presentes no cotidiano, como na iluminação urbana e no abrir e fechar de portas automáticas trouxe efetivo sentido a essa proposta. A forma como as interações são determinantes para a facilitação da aprendizagem, reforçou o uso da afetividade como ferramenta motriz neste trabalho. Através da participação ativa dos estudantes em respostas a questionários, atividades como leitura e discussões de textos, resolução de questões compiladas de livros e da internet, utilização de simulação com computadores e atividade experimental, foi feita uma análise da aprendizagem das turmas. Essa análise teve como ponto de partida os conhecimentos prévios dos alunos, com abordagem predominantemente qualitativa, sendo feita após aplicação do processo ensino-aprendizagem e posterior caracterização e averiguação investigativa frente as respostas aos questionários.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Afetividade. Caráter Corpuscular da radiação. Aprendizagem significativa. Escala tipo Likert.

## ABSTRACT

BUENO, C. N. **The corpuscular character of the radiation through the photoelectric effect: a didactic proposal.** Cuiabá, 2019. Dissertation - Postgraduate Program in Teaching Natural Sciences Institute of Physics - Federal University of Mato Grosso.

The use of technology by students has increasingly shown the importance of using strategies in the teaching of physics where the content to be studied, or part of it, is contemplated in objects that are present in the experience of our students. A look with more emphasis on Modern Physics, detaches the student from a Classical Physics, very emphatic for decades, allowing a look directed to other possibilities and with new solutions. In this objective, this dissertation presents a didactic proposal under the theme Photoelectric Effect, applied in two classes of Integrated High School, at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Mato Grosso. Understanding the corpuscular character of radiation present in everyday life, such as urban lighting and the opening and closing of automatic doors, has brought effective meaning to this proposal. The way interactions are decisive for facilitating learning, reinforced the use of affectivity as a driving tool in this work. Through the active participation of students in questionnaire responses, activities such as reading and discussing texts, solving questions compiled from books and the internet, using computer simulation and experimental activity, an analysis of class learning was done. This analysis had as its starting point the previous knowledge of the students, with a predominantly qualitative approach, being made after the application of the teaching-learning process and subsequent characterization and investigative investigation regarding the answers to the questionnaires.

**Keywords:** Physics Teaching. Affectivity Corpuscular character of radiation. Meaningful learning Likert type scale.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>10</b>
2.1	Breve história e conceito do efeito fotoelétrico .....	11
2.2	Aprendizagem significativa crítica .....	21
2.3	Proposta didática.....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
3.1	Questionário de entrada utilizando escala tipo Likert.....	28
3.2	Descrição do procedimento experimental.....	32
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
4.1	Resultados do questionário de entrada .....	34
4.2	Resultados da resistência elétrica no resistor de cerâmica e no LDR .....	35
4.3	Resultados do questionário de saída .....	38
4.4	Análise comparativa dos resultados dos questionários de entrada e saída .....	38
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A observação da vida através da luz nos faz contempladores. Porém, para muito além da contemplação, a presença da luz torna a vida possível na Terra.

Na história, durante o período Paleolítico, a descoberta do fogo foi decisiva para que o homem pudesse abandonar as cavernas rumo à civilização. Foi através do calor e da iluminação que firmamos nossos primeiros passos também.

O brilho das estrelas e a iluminação da Lua nos tiraram de uma condição de observadores celestiais, para gestores do tempo. A humanidade pode programar datas para plantar, colher, caçar. Deixamos de ter atitudes passivas, pois já era possível fazermos previsões para adequar ações às nossas necessidades. O Céu ficou mais perto de nós.

Na busca por soluções de problemas, a luz sempre trouxe uma contribuição mágica. A tecnologia, apesar de tão amplamente utilizada no cotidiano cosmopolita, ainda traz muitos mistérios para nossos estudantes.

A teoria, que está presente na ementa do Ensino Médio, por vezes é trabalhada em desconexo com sua aplicação. Questões como o abrir e fechar de uma porta automática ou, até mesmo, a iluminação pública acender e apagar “sozinha” suscita no aluno o interesse pelo aprendizado, tendo em vista sua aplicação, tornando-o prazeroso.

O prazer da descoberta é parte motivadora para o aprendizado dos nossos alunos. Esse cenário de curiosidade e dúvidas que envolvem tecnologia amplamente utilizada, foi a escolha para abordarmos o conteúdo Efeito Fotoelétrico.

Nos acompanhe, nos próximos capítulos, para obter uma abordagem mais detalhada do trabalho. No próximo capítulo será explanado a fundamentação teórica do efeito fotoelétrico, da aprendizagem significativa crítica e da proposta didática elaborada. Um breve relato sobre as inquietações vivenciadas por estudiosos e suas contribuições na compreensão do efeito fotoelétrico.

No terceiro capítulo será detalhada a metodologia do trabalho através do uso de escala tipo Likert e a descrição do procedimento experimental. É o momento em que as ações são propostas visando a obtenção da aprendizagem significativa.

O quarto capítulo traz a compilação de dados obtidos durante o desenvolvimento da pesquisa e a análise desses dados através de gráficos e discussões. Nesse capítulo pode-se observar as implicações da proposta didática no processo ensino-aprendizagem.

No quinto e último capítulo serão feitas as considerações finais do trabalho, através de uma análise global da pesquisa e suas contribuições no cotidiano escolar.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo abordaremos a fundamentação teórica que será apresentada em três partes. A programação das aulas e desenvolvimento de cada etapa foram centrados nos conhecimentos explanados na sequência.

O primeiro item conceitua o efeito fotoelétrico e como o processo para formular esse conhecimento foi elaborado mesmo sendo, desde o início, muito conflitante pelos estudiosos. A devida compreensão e formulação do efeito fotoelétrico durou décadas. A compreensão histórica dos fatos tem o intuito de despertar no aluno um olhar não místico sobre o conhecimento científico e a ruptura de paradigmas presente no avanço da ciência, onde não há verdades incontestáveis. Trazer reflexão crítica ao aprendiz, conforme cita Guerra:

Para que a história da ciência cumpra o papel destacado, é necessário que, ao enfocá-la, seja ultrapassada a história factual, baseada apenas em curtas biografias dos autores das leis e das teorias atualmente aceitas. Ela será um instrumento eficaz na construção de um espaço propício à reflexão, quando, paralelamente ao estudo histórico do desenvolvimento interno dos conceitos e experimentos científicos e tecnológicos, discuta-se como o desenvolvimento desses conhecimentos se inseriu na história das sociedades. Deve-se, então, salientar as controvérsias científicas, as inquietações filosóficas dos que construíram a ciência, e também as interfaces entre esta e outras produções culturais (GUERRA, 2004, p. 225).

No segundo item será mostrado alguns aspectos da teoria significativa crítica que foram utilizados durante as aulas com objetivo de propiciar ao aluno uma aprendizagem mais ativa e menos mecânica, visando uma aprendizagem significativa. O professor poderá utilizar como ponto de partida os saberes adquiridos através da vivência do aluno para conhecer seu mundo e, dessa forma, podendo participar dele, fazer inserções devidamente planejada para construção do conhecimento. A importância do conhecimento adquirido anteriormente pelo aluno no processo ensino-aprendizagem é apontada por Moreira (2010, p. 08), "(...) qualquer intento de facilitar a aprendizagem significativa em situação formal de ensino deve tomar como ponto de partida o conhecimento prévio do aluno no campo conceitual em questão".

No terceiro item a proposta didática dessa pesquisa é apresentada com objetivo de propiciar ao ambiente da sala de aula um compartilhamento de conhecimento, vivência e afetividade, pois a forma como nos sentimos tem influência no aprendizado. O afeto é visto como a energia necessária para que a estrutura cognitiva possa funcionar (SALTINI, 1997). Ele explica a forma como nossas emoções se relacionam com o aprendizado:

Ao falarmos da inteligência e da aprendizagem, precisamos nos referir também, e sempre, à emoção, as ligações e inter-relações afetivas. Seria impossível entender o desenvolvimento da inteligência sem um desenvolvimento integrado e convergente cada vez maior de nossos interesses e amores por aquilo que olhamos, tocamos e que nos alimenta a curiosidade. (SALTINI, 1997, p. 52).

Com essas contribuições importantes, foi desenvolvida a nossa proposta, em busca de um ambiente propício à aprendizagem significativa.

## **2.1 BREVE HISTÓRIA E CONCEITO DO EFEITO FOTOELÉTRICO**

Retratamos agora a formulação do conceito do efeito fotoelétrico juntamente com as discussões pertinentes à época que foram importantes para a elaboração desse conhecimento.

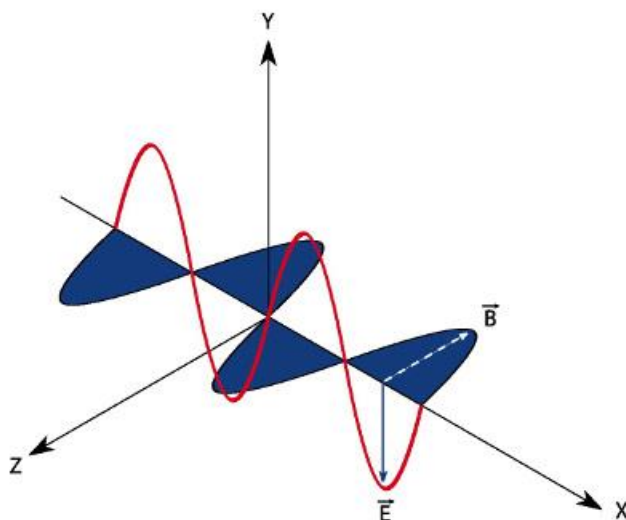
A incandescência de alguns objetos nos é familiar. Porém, a forma de emissão dessa radiação por objetos aquecidos trouxe certa perturbação e inconformidade aos estudiosos no final do século XIX e foi responsável por estudos intensos e quebras de paradigmas na história da Física.

Apesar de grande eficácia e utilidade, a Física Clássica já não conseguia explicar diversos fenômenos físicos de grande relevância. Começou a desenvolver-se, portanto, a Física Quântica. Desde os primeiros relatos de inconsistências com os conhecimentos vigentes, até a formulação teórica do efeito fotoelétrico por Albert Einstein, foram aproximadamente três décadas.

Por volta de 1860, James Clerk Maxwell, estabeleceu quatro equações que resumiram grandes leis que englobam os fenômenos elétricos e magnéticos. Nessas leis, campo elétrico e magnético têm propagação conjunta:

- Um campo elétrico variável com o tempo sustenta a existência de um campo magnético;
- Um campo magnético variável com o tempo, sustenta a existência de um campo elétrico;

Figura 1 - Propagação da onda eletromagnética e direção do campo elétrico e magnético.



<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-eletromagneticas.htm>

A essa propagação conjunta, denominamos radiação eletromagnética. Porém, por sofrerem interferência e difração, são também denominadas ondas eletromagnéticas, como mostra a figura 1.

Sabemos que uma onda eletromagnética não necessita de um meio material para se propagar, ela pode se propagar no vácuo. Antes de Maxwell saber que a luz é uma onda eletromagnética, ele calculou a velocidade de propagação dessas ondas no vácuo. Através de suas equações, Maxwell chegou ao seguinte resultado:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

sendo:

$$\epsilon_0 = 885418 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$$

pelo qual se obtém o valor de c:

$$2,99792 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Esse valor é compatível com o valor obtido experimentalmente para a velocidade de propagação da luz no vácuo. James Clerk Maxwell concluiu, portanto, que a luz visível é uma onda eletromagnética.

Coube ao físico alemão Heinrich Hertz, em 1886 e 1887, confirmar experimentalmente que a luz é uma onda eletromagnética, corroborando as teorias de James Clerk Maxwell (EISBERG; RESNICK, 1994, p. 51).

Por outro lado, em 1879, o físico austríaco Josef Stefan obteve empiricamente uma expressão que foi demonstrada matematicamente por Ludwig Boltzmann em 1884. Essa expressão mostrava como calcular a intensidade total da radiação térmica ( $I$ ) emitida por um corpo em função de sua temperatura ( $T$ ):

$$I = e\sigma T^4, \quad (2)$$

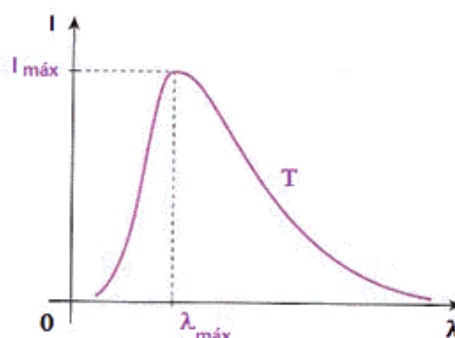
onde  $e$  é o poder de emissão do corpo, ou emissividade, e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann cujo valor é:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

De acordo com o modelo ondulatório de Maxwell, a radiação térmica incidente no corpo é responsável pela oscilação das cargas elétricas na superfície dele. Sendo assim, parte dessa energia é absorvida pelo corpo. Essa oscilação ocorre em frequências variadas, em virtude da agitação térmica, de forma que a radiação é emitida num espectro contínuo.

Um corpo que absorve toda radiação térmica que nele incide é considerado um absorvedor e emissor perfeito, ou seja, um corpo negro. Para um corpo negro a absorvidade e emissividade são iguais e valem 1 ( $a = e = 1$ ). Veja, graficamente, como se comporta a intensidade de radiação emitida  $I$  por um corpo negro em função do comprimento de onda  $\lambda$ , para uma dada temperatura  $T$ :

Gráfico 1 - Intensidade de radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda de uma temperatura determinada.



Observa-se que a emissão da radiação térmica ocorre em uma faixa contínua de comprimentos de onda e que, para um determinado comprimento de onda, tem-se uma emissão com intensidade máxima,  $I_{m\acute{a}x}$ .

Quando a temperatura do corpo muda de  $T_1$  para  $T_2$ , sendo  $T_2 > T_1$ , a intensidade de radiação emitida em cada comprimento de onda  $\lambda$  aumenta, bem como a intensidade total da radiação.

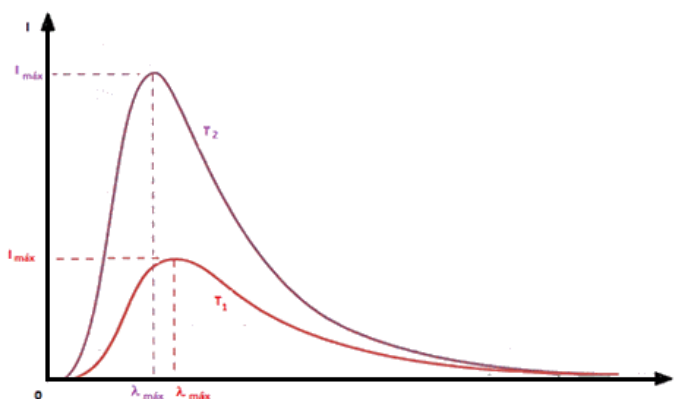
O ponto de máximo da curva também se desloca, conforme demonstrado pelo físico alemão Wilhelm Wien em 1893. O deslocamento do ponto de máximo da curva  $I \times T$  varia de acordo com a expressão:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \quad (3)$$

onde  $b$  é uma constante cujo valor é:

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K$$

Gráfico 2 - O ponto de máximo da curva  $I \times \lambda$  desloca-se para esquerda ao passar de uma temperatura  $T_1$  para  $T_2$ .

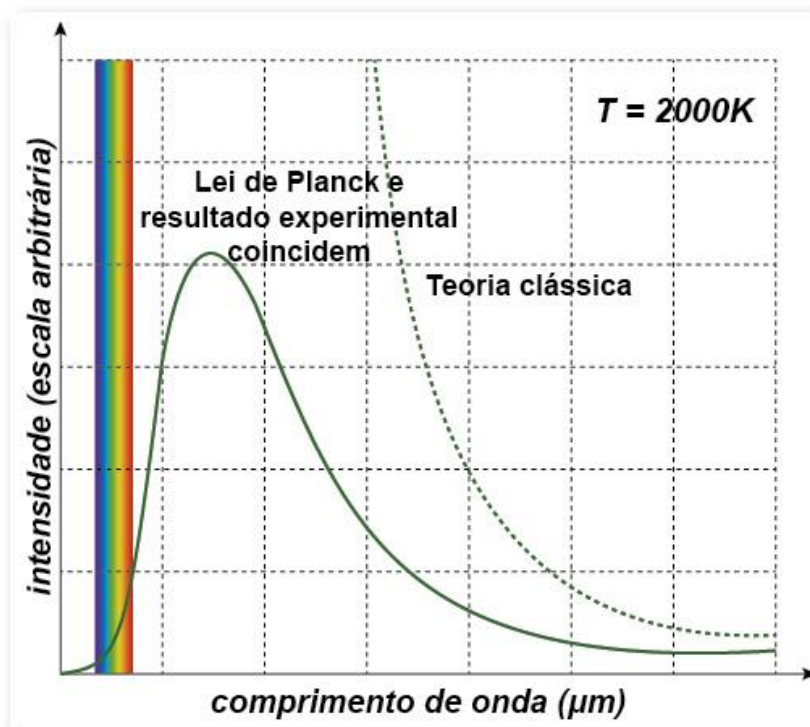


[https://www.sofisica.com.br/conteudos/fisicamoderna/FisicaQuantica/corpo\\_negro2.php](https://www.sofisica.com.br/conteudos/fisicamoderna/FisicaQuantica/corpo_negro2.php)

Enquanto a teoria eletromagnética de Maxwell explicava com êxito a propagação das ondas eletromagnéticas, suscitava dúvidas e não era suficiente para compreensão gráfica da radiação do corpo negro, principalmente na região do comprimento de ondas menores, que ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta. O gráfico a seguir mostra a discrepância entre a previsão da intensidade de radiação  $I$  do corpo negro pela teoria clássica em função do comprimento de onda  $\lambda$  e os dados experimentais:



Gráfico 3 - Para comprimentos de onda maiores, existe uma expressiva concordância entre o resultado experimental e o previsto pela teoria clássica. Para valores menores do comprimento de onda, a discordância entre a prática e a previsão clássica é mais evidente.



[https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/figs1/FI\\_D8\\_T1\\_I04.jpg](https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquantumdeluz/figs1/FI_D8_T1_I04.jpg)

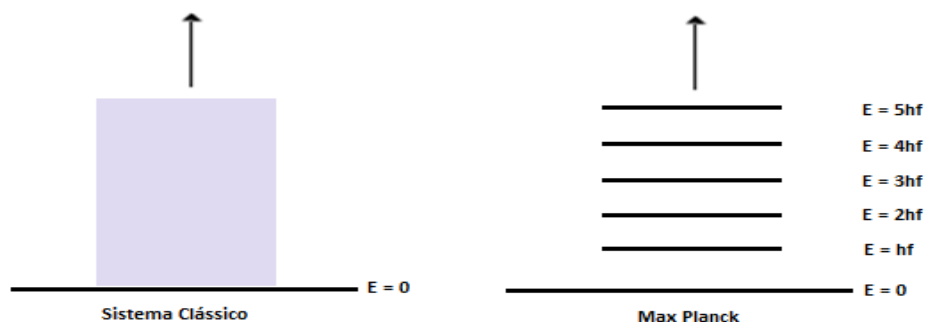
A decisão foi mudar a forma de perceber os acontecimentos. Era necessário repensar o uso dos conhecimentos vigentes e aceitar novos conceitos.

Para Max Planck, a energia era emitida através da oscilação de cargas elétricas na superfície do corpo negro, que ocorriam em função da agitação térmica do corpo. Ao passar de um estado quântico  $n = 1$  para  $n = 2$  ele absorve uma quantidade discreta de energia  $n = hf$  como mostra a figura 2. E emitirá uma porção discreta de energia ao passar de um estado quântico  $n = 2$  para  $n = 1$ . A absorção ou emissão de energia obedece a seguinte expressão:

$$E = nhf \quad (n = 0, 1, 2 \dots) \quad (4)$$

onde  $h$  é uma constante universal (mais tarde chamada constante de Planck),  $f$  é a frequência da oscilação e  $n$  é denominado número quântico. Portanto, para cada valor de  $n$ , teremos um estado quântico específico para o oscilador. Essa quantidade discreta de energia foi chamada de quantum, de onde tem-se a origem do nome teoria dos *quanta*. Porém, Max Planck continuou acreditando que, durante a propagação, os *quanta* (porções discretas de energias) o fariam como radiações eletromagnéticas.

Figura 2 - À esquerda, distribuição de energia de forma contínua para um sistema clássico. À direita, distribuição discreta de energia, de acordo com o postulado de Planck.



Fonte: A autora

Foi relutando em aceitar uma revolução que Max Karl Ernst Ludwig Planck propôs a quantização de energia, dando origem a uma quebra de paradigmas em 1900. Conforme ele mesmo expressou (*apud* RESNICK; HALLIDAY; KRANE, 1996, p. 131):

Minhas fúteis tentativas de enquadrar o *quantum* elementar de ação [isto é, a grandeza  $h$ ], de algum modo, dentro da teoria clássica, estenderam-se por alguns anos e me custaram muito esforço.

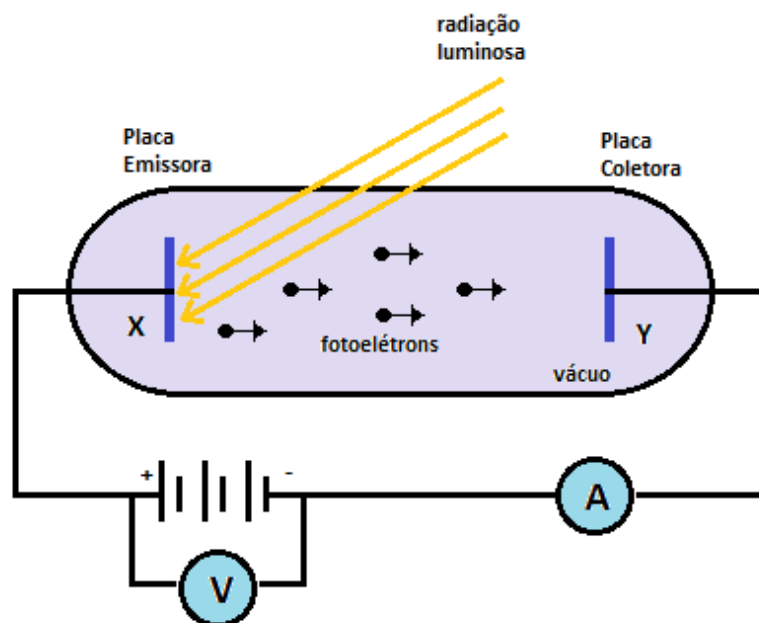
Durante esse tempo de dúvidas de Max Planck, Albert Einstein sente necessidade de reformular o eletromagnetismo clássico e a estatística. Em 1905, é publicado por Albert Einstein, um trabalho sobre a interpretação do efeito fotoelétrico com base na proposta de Planck. Porém, Einstein não estava sozinho. Hertz já havia observado, através de experimentos com placas metálicas, que a luz ultravioleta poderia gerar uma descarga elétrica ao incidir sobre um deles.

Em 1903, a observação experimental de Wilhelm Hallwachs, o físico alemão Philipp von Lenard mostrou que a radiação ultravioleta fez com que elétrons<sup>1</sup> fossem emitidos de uma superfície metálica.

Essa emissão de elétrons em consequência da incidência da radiação luminosa sobre uma superfície metálica é conhecida como efeito fotoelétrico (vide figura 3). Os elétrons que são arrancados recebem o nome de fotoelétrons.

<sup>1</sup> J.J. Thomson descobriu o elétron em 1897 e o definiu como uma partícula. Recebeu o Prêmio Nobel em 1906 e era o pai de G. P. Thomson, que, descobriu experimentalmente a difração do elétron em 1927 e recebeu (juntamente com Davisson) o Prêmio Nobel em 1937.

Figura 3 - Esquema do experimento para verificação do efeito fotoelétrico.



Fonte: A autora

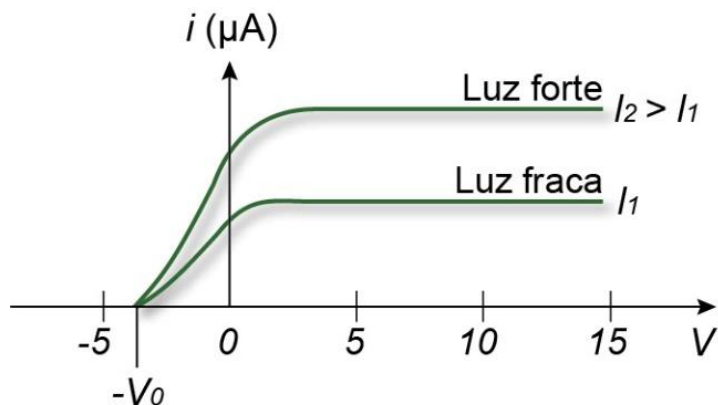
Os elétrons arrancados através da radiação luminosa da placa X são coletados na placa Y e recebem o nome de fotoelétrons. Essa corrente, medida pelo amperímetro A, surge através da diferença de potencial  $V$  estabelecida entre X e Y. Se  $V$  é positivo e de um valor elevado a corrente fotoelétrica terá um valor de saturação no qual todos os fotoelétrons ejetados de X são coletados em Y. Se invertermos o sinal de  $V$ , com uma diferença de potencial intensa, um valor  $V_0$  chamado *potencial de corte* será obtido e a corrente fotoelétrica cessa. Ao multiplicar essa diferença de potencial  $V_0$  pela carga do elétron  $e$ , obtém-se a energia cinética  $K_{m\acute{a}x}$  do mais rápido fotoelétron:

$$K_{m\acute{a}x} = eV_0 \quad (5)$$

Experimentalmente nota-se que  $V_0$  independe da intensidade da radiação incidente. Para melhor direcionamento, é importante observar que, na investigação do efeito fotoelétrico, três importantes aspectos não puderam ser explicados pela teoria ondulatória clássica da luz:

- **Intensidade:** A energia cinética dos fotoelétrons deveria aumentar com um feixe de luz mais intenso. Porém, resultados obtidos, mostram que a energia cinética independe da intensidade da luz incidente ( $K_{m\acute{a}x} = eV_0$ ). O gráfico a seguir mostra que a intensidade da luz  $I_2$  é maior que a intensidade da luz  $I_1$ . Entretanto, o potencial de corte  $V_0$ , independe da intensidade da radiação incidente.

Gráfico 4 - Independência do potencial de corte em relação à quantidade de radiação incidente. A quantidade de radiação incidente altera o valor da intensidade da corrente elétrica.

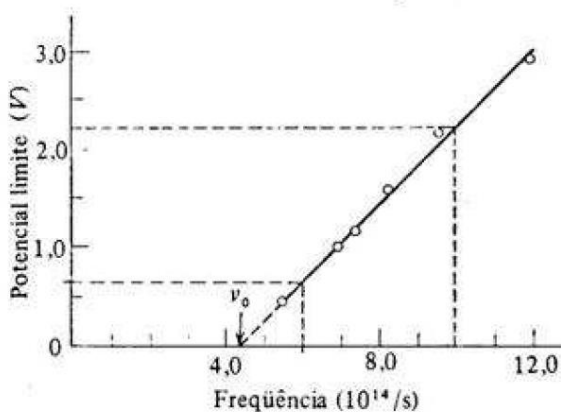


<https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/1OrigensMecanicaQuantica/1Oquntumdeluz/Oquantumdeluz.html>

- *Frequência:* Desde que a intensidade da luz incidente seja suficientemente intensa, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer, independente da frequência. Porém, a figura de resultados experimentais mostra que o efeito fotoelétrico não ocorre para frequências menores que  $f_0$ , qualquer que seja a intensidade da radiação luminosa.

Esse trabalho árduo trouxe a Robert Andrews Millikan o prêmio Nobel em 1923.

Gráfico 5 - Medidas de Millikan do potencial limite no sódio em várias frequências. Abaixo da frequência de corte  $\nu_0$  o efeito fotoelétrico deixa de ocorrer. Os resultados são os obtidos por R.A. Millikan 1916.



Fonte: EISBERG e RESNICK (1994, p. 53)

- *Retardo no tempo:* Se uma radiação luminosa de pouca intensidade produzisse o fenômeno, os elétrons levariam um certo tempo para serem extraídos. Seria o tempo de acúmulo de energia necessária para a extração. Mas a constatação foi de um fenômeno quase

instantâneo, por menor que fosse a intensidade da radiação luminosa causadora do efeito fotoelétrico.

Em 1905, influenciado por Philipp von Lenard, Albert Einstein propõe uma nova teoria, onde o efeito fotoelétrico seria a forma de averiguar se ela estaria correta. Para Einstein, a energia irradiada estava quantizada em pacotes, que mais tarde foram chamados de fótons. Por conseguinte, Einstein deduziu a lei da radiação de Planck, utilizando esse novo conceito através da conservação da energia:

$$hf = \emptyset + K_{m\acute{a}x} , \quad (6)$$

onde  $hf$  é a energia do fóton e  $K_{m\acute{a}x}$  é a energia cinética máxima que o fotoelétron pode ter fora da superfície, pois parte de sua energia ( $hf$ ) foi utilizada para arrancar o elétron da superfície metálica através da função trabalho  $\emptyset$ . A função trabalho representa a energia necessária para levar os elétrons mais fracamente ligados para fora da superfície e, também, para afastá-los das partículas vizinhas.

Para os três aspectos que foram explanados anteriormente, e que não estavam em consonância com a teoria ondulatória clássica da luz, as contribuições dadas pela hipótese do fóton de Einstein foram as seguintes:

- *Intensidade:* A experiência corrobora a teoria do fóton. Dobrar a intensidade da luz, somente faz dobrar o número de fótons e, conseqüentemente, duplica a corrente fotoelétrica. A energia  $hf$  de cada fóton e a característica do efeito fotoelétrico permanecem sem alterações.
- *Frequência:* Confirmando a os resultados experimentais sobre efeito fotoelétrico, ao propor uma energia cinética nula ( $K_{m\acute{a}x} = 0$ ), a equação de Einstein mostra que o fóton tem energia necessária apenas para remover o elétron e não haverá nenhuma energia extra para produção de energia cinética:

$$hf_0 = \emptyset \quad (7)$$

Isto é, uma redução de  $f$  a um valor menor que  $f_0$  implicará em  $hf < \emptyset$  e, portanto, os fótons individuais não terão energia suficiente para ejetar fotoelétrons, não importando quantos deles existam, ou seja, quão intensa seja a radiação luminosa.

- *Retardo no tempo:* A hipótese do fóton mostra que a energia não se espalha uniformemente sobre uma área extensa, como supunha a teoria ondulatória clássica, mas sim em pacotes concentrados. À medida que a luz incide numa placa metálica haverá ao menos um fóton que o atinge e que será imediatamente absorvido por algum átomo, causando a emissão de um fotoelétron.

Através de uma análise cuidadosa dos valores obtidos pela equação fotoelétrica de Einstein, e de outros dados, inclusive os obtidos com superfícies de lítio, Millikan achou o valor para  $h = 6,57 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ . Esse valor é próximo ao obtido através da fórmula da radiação de Planck, com teorias completamente diferentes que, de forma admirável, confirma o conceito de Einstein sobre o fóton. Ao substituírmos  $K_{m\acute{a}x}$  por  $eV_0$  na equação 6, teremos:

$$V_0 = \frac{hf}{e} - \frac{\phi_0}{e}, \quad (8)$$

que mostra uma relação linear entre o potencial limite  $V_0$  e a frequência  $f$ , concordando com resultados experimentais de acordo com o gráfico 5. No gráfico, a inclinação da reta obtida através de dados experimentais é  $h/e$ , cujo valor será:

$$\frac{h}{e} = \frac{ab}{bc} = \frac{2,30 \text{ V} - 0,68 \text{ V}}{(10 \times 10^{14} - 6,0 \times 10^{14}) \text{ Hz}} = 4,1 \times 10^{-15} \text{ V.s}$$

Portanto, utilizando a carga  $e$  do elétron, teremos o seguinte valor para  $h$ :

$$h = (4,1 \times 10^{-15} \text{ V.s})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Citando Millikan (*apud* EISBERG; RESNICK, 1994, p. 56):

O efeito fotoelétrico... fornece uma prova independente da fornecida pela radiação de corpo negro, da exatidão da hipótese fundamental da teoria quântica, ou seja, a hipótese da emissão descontínua ou explosiva da energia que é absorvida das ondas pelos constituintes eletrônicos dos átomos. Ele materializa, por assim dizer, a quantidade  $h$  descoberta por Planck em seu estudo da radiação de corpo negro e, como nenhum outro fenômeno, nos faz acreditar que o conceito físico básico que está por trás do trabalho de Planck corresponde à realidade.

Einstein apresentou a teoria sobre fótons antecipadamente às confirmações experimentais descritas acima. Foi em 1916 que Millikan obteve êxito ao submeter a equação fotoelétrica de

Einstein a um teste experimental rigoroso. Porém, Millikan não estava convencido da realidade dessas partículas de luz. Millikan comentou que “no momento, a ideia de Einstein sobre os fótons parece completamente insustentável”.

Planck também não aceitou facilmente os fótons de Einstein. Ele e outros membros da Academia Prussiana de Ciências, mesmo indicando Einstein para membro, viam inicialmente de forma negativa a hipótese do fóton, conforme escreveram: (*apud* EISBERG; RESNICK, 1994, p. 57).

Em resumo, podemos dizer que dificilmente haverá um grande problema, dos quais a física moderna é tão rica, ao qual Einstein não tenha dado uma importante contribuição. Que ele tenha algumas vezes errado o alvo em suas especulações, como por exemplo em sua hipótese dos quanta de luz (fótons), não pode ser colocado contra ele, pois é impossível introduzir ideias fundamentalmente novas, mesmo nas ciências mais exatas, sem ocasionalmente correr um risco.

Apesar de Einstein ter se tornado famoso por sua Teoria da Relatividade, em 1921, Einstein foi agraciado com o Prêmio Nobel, por ter feito a previsão teórica do efeito fotoelétrico, fato que corrobora o sucesso da Teoria Quântica. Associar Einstein somente a Teoria da Relatividade, reduz sua importância à metade (DIONÍSIO, 2005).

## **2.2 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA**

A promoção de um aprendizado que viabilize ao aluno se adequar às mudanças rotineiras e drásticas em nosso tempo, é de fundamental relevância. A aprendizagem significativa crítica é uma das propostas a trazer uma postura de criticidade, tão necessária em nosso dia. Essa postura crítica é desejada pois poderá permitir ao aluno deixar uma condição de passividade e estagnação para acompanhar as mudanças e necessidades sociais vigentes.

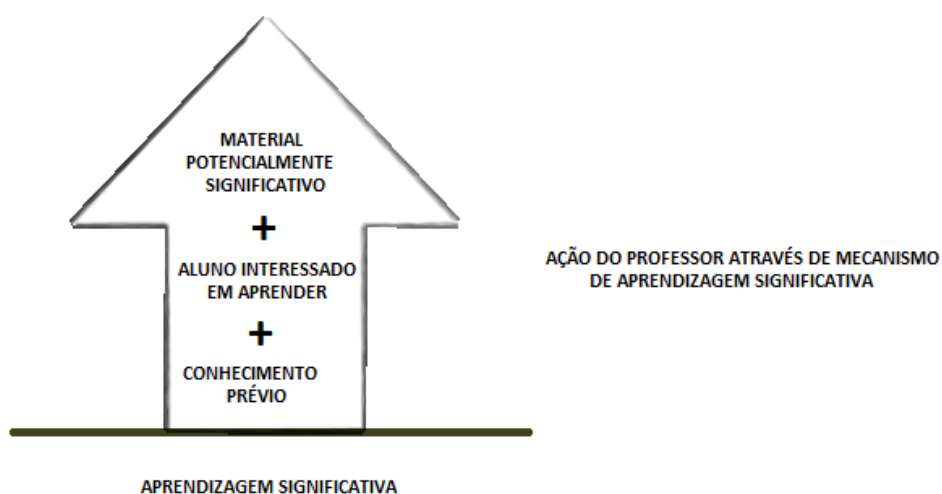
Na aprendizagem significativa, um conhecimento específico que já está incorporado na estrutura do conhecimento do sujeito aprendiz será usado para dar significado a um novo conhecimento. Esse conhecimento específico é chamado de subsunçor (MOREIRA, 2010). A aprendizagem significativa ocorre na interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. Entretanto, não é qualquer conhecimento que pode ser considerado subsunçor:

(...) É importante esclarecer que o subsunçor é um conhecimento prévio, já existente na estrutura cognitiva do aprendiz no momento da aprendizagem de um novo conhecimento. Mas não se trata de um conhecimento prévio qualquer e sim de um conhecimento especificamente relevante para a nova informação,

o qual interage com ela em um processo que promove a aprendizagem significativa desse novo conhecimento. (PAULO E SOUSA, 2011, p.18).

A aprendizagem significativa utiliza materiais potencialmente significativos para se estabelecer e com um arranjo que também atenda a esse objetivo. Cabe ao professor permear com um mecanismo de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003).

**Figura 4** - Tendo como ponto de partida o conhecimento prévio, a junção do interesse em aprender pelo aluno com um material potencialmente significativo, o professor poderá inferir um mecanismo de aprendizagem significativa.



Fonte: A autora

Muitas variáveis são fundamentalmente importantes para que ocorra a aprendizagem significativa, porém o conhecimento prévio tem considerável relevância conforme explicitado por Ausubel et al. (1980):

Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, dirá o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigüe isso e ensine de acordo. (AUSUBEL et al., 1980, p.137)

Faz-se necessário, portanto, alcançar de forma mais próxima possível, o conhecimento do aluno que poderá entrar em consonância com o novo conhecimento que queremos introduzir. O enfoque para uma aprendizagem subversiva é traduzido por uma aprendizagem significativa crítica, onde o aluno é capaz de lidar de maneira construtiva com as mudanças sem, necessariamente, ser subjugado por elas (MOREIRA, 2000).

Como norteadores do trabalho desenvolvido, foram utilizados de forma enfática, cinco princípios facilitadores elencados por Moreira (2000):



- **Princípio da interação social e do questionamento:** A relação norteadora na sala de aula deve ser centrada na interação entre o professor e aluno, de forma que suscite no aluno a curiosidade pelo aprendizado. Despertar no aluno a prática de indagações epistemologicamente curiosas, sabendo filtrar perguntas de senso comum.

À medida que se estabelece um compartilhamento de significados em relação aos materiais educativos através de perguntas, o ensino tende a ser crítico e colabora dessa forma para uma aprendizagem significativa crítica. Fomentar questionamentos em sala de aula contribui para que o aluno utilize seu conhecimento prévio de forma a interagir com algum subsunçor existente e o deixa apto para explicar tal conhecimento com outras palavras.

- **Princípio da não centralidade do livro de texto:** Utilizar vários materiais educativos irá facilitar a formação crítica na aprendizagem do aluno, favorecendo trazer à tona questionamentos de 'verdades' transcritas.

A utilização do livro texto como símbolo de autoridade em sala atua na contramão de uma educação para diversidade, pois estimula o compartilhamento de um conhecimento pronto, uma aprendizagem mecânica, com verdades inquestionáveis. O livro texto deve ser considerado como apenas um dentro de uma variedade de materiais educativos.

- **Princípio do aprendiz como perceptor/representador:** A aprendizagem não deve ser feita através de verdades absolutas, respostas certas, exatidão. Deve ocorrer por interação e com questionamentos que favoreçam a aprendizagem significativa crítica. A percepção do aluno é a forma como ele irá lidar com algumas inadequações já estabelecidas, podendo, em seguida abandoná-las e desenvolver outras mais eficazes.

Se desejamos promover uma aprendizagem significativa crítica é necessário tratar o aluno como perceptor único do que lhe foi ensinado e a partir de então ele será um representador do mundo que ele enxergou.

- **Princípio da aprendizagem pelo erro:** Aprender por superação do erro é inerente à natureza humana. Através de sucessivas correções a um modelo mental, obtemos a funcionalidade satisfatória. Ignorar o erro denota um conhecimento completo e correto, todavia, buscar o erro é pensar criticamente e aprender por superação.

A história da ciência nos mostra por vezes a construção do conhecimento a partir de correções de erros. À medida que o conhecimento vigente não mais é suficiente para responder às

perguntas de interesse da sociedade, ele é adaptado sucessivamente até se estabelecer num modelo de funcionalidade satisfatória. Como foi possível observar no conhecimento sobre o efeito fotoelétrico. O erro, por vezes, é a história do nosso conhecimento.

▪ **Princípio da não utilização do quadro-de-giz:** Não se trata de meramente substituir a função do quadro de giz por outras tecnologias, mas sim, reduzir certas ações que estão veiculadas a essa utilização exacerbada. Uma diversidade de materiais educativos, bem como, estratégias de ensino diversas, são facilitadores na aprendizagem significativa crítica.

Isso implica em participação ativa do aluno através de atividades colaborativas ao invés de esperar que o ato de ensinar se restrinja ao professor escrever respostas corretas no quadro e a promoção de um ensino centralizado no aluno.

### 2.3 PROPOSTA DIDÁTICA

A proposta didática para trabalhar o efeito fotoelétrico foi subsidiada pelo estudo desenvolvido por pesquisadores na área de ensino de física e inserida no planejamento do conteúdo anual da terceira série do Ensino Médio.

Acreditamos que a utilização do conceito do efeito fotoelétrico poderá despertar no aluno uma curiosidade em relação ao uso dos conhecimentos físicos no cotidiano através de tecnologias disponíveis. E que, o histórico sobre a dedicação de estudiosos através de anos para compreenderem um fato novo, acompanhados por suas dúvidas e questionamentos, poderá contribuir para uma visão mais crítica sobre como a ciência é produzida. Segundo Silva e Almeida (2011), a física quântica traz um ensino mais contextualizado e imerso em novas tecnologias.

Após a aplicação e análise das respostas ao questionário de entrada, foi possível diagnosticar os conhecimentos prévios dos estudantes e assim preparar as próximas orientações e escolher o experimento relacionado com o tema que seria realizado pela turma em suas aulas experimentais.

A importância do questionário de entrada se baseia no fato de que, para que haja aprendizagem significativa, faz-se necessário utilizarmos os conhecimentos prévios dos alunos, ou seja, partir daquilo que o aluno já sabe (AUSUBEL, 1980).

Apontamentos dos estudantes foram importantes para a escolha de uma estratégia centrada no fazer do aluno, que pudesse torná-lo consciente através de sua busca e questionamentos. O objetivo da proposta é propiciar ao aluno uma busca que pudesse corresponder aos anseios e inquietações de forma a envolvê-lo.

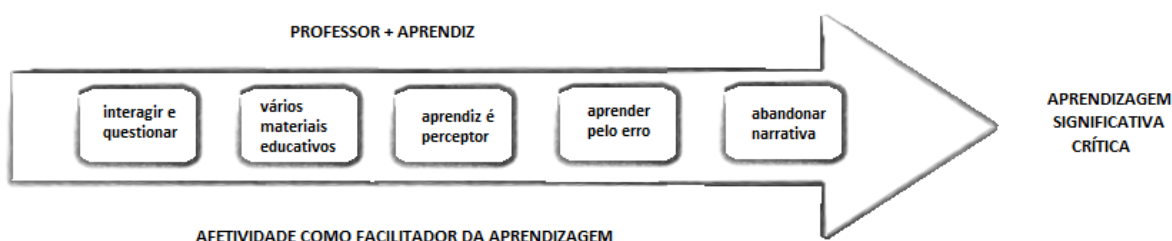
A aprendizagem significativa também ancora sob o sentimento do aluno em relação à forma como recebe esse novo conhecimento. Segundo Mahoney (1993) a emoção abre caminho para a aprendizagem significativa:

A função da emoção na ação educativa é a de abrir caminho para a aprendizagem significativa, isto é, a aprendizagem que vai ao encontro das necessidades, interesses e problemas reais dos alunos e que resulta em novos significados transformadores da sua maneira de ser. Amplia seu campo perceptual, possibilitando a descoberta de novas ideias. Aumenta seu contato tanto com o mundo subjetivo, quanto com o mundo exterior. (MAHONEY, 1993, p. 71).

A afetividade é a forma que o aluno demonstra interesse e curiosidade, como admite McLeod (1992). Ela está presente em todo momento e precisa ser levada em conta também no processo de ensino-aprendizagem. Dessa forma, através de uma participação interativa onde ele possa se sentir valorizado, a aprendizagem significativa terá maior ancoragem.

Favorecer o processo de ensino-aprendizagem é também envolver com a estrutura emocional do aluno e procurar motivá-lo nos seus interesses e anseios. É atribuir às questões estatísticas uma análise de intensidade almejando um inter-relação mais eficaz com resultados mais duradouros.

**Figura 5** - Esquema com os princípios facilitadores da aprendizagem significativa, afetividade e a participação ativa professor-aprendiz.



Fonte: A autora

Apesar de terem o livro texto, foi solicitado que buscassem as informações nas mais variadas fontes de acesso, como biblioteca, internet, apostilas. Esse material subsidiava as aulas. Os questionamentos eram amplamente dialogados em conjunto, com os participantes, com a mediação do professor.

Durante as aulas práticas, em alguns momentos foram resolvidos exercícios relacionados aos conteúdos, sempre com foco na Física Moderna.

Na aula seguinte, o assunto era retomado com inserções que percebia ser necessário para darmos seguimento ao trabalho. A maioria delas estava relacionada com gráficos e equações.

Ao finalizar essa etapa, utilizando material de fácil acesso e baixo custo, além de condições facilitadas de desenvolvimento e compreensão, um experimento foi escolhido para que pudessem verificar a emissão de elétrons devido à presença da radiação luminosa.

Cada turma foi dividida em quatro grupos para montagem e debate do experimento, o que tornou necessária a composição de 4 kits experimentais.

### 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento de temas importantes da história da Física junto a estudantes do Ensino Fundamental e Médio por meio de atividades experimentais, envolvendo os alunos na prática da sala de aula, pode ser uma das inúmeras ferramentas didáticas a serem utilizadas.

No caso em questão, foram desenvolvidos conceitos de Física Moderna durante aulas de Física de estudantes de Cursos Técnicos Integrados ao Ensino Médio do Instituto Federal de Mato Grosso, na cidade de Cuiabá. Pela sua importância histórica, científica e tecnológica, o assunto específico foi o Efeito Fotoelétrico, fundamentado na Física Moderna. A habilidade técnico-experimental característica dos estudantes dos cursos técnicos foi associada aos conceitos de Física Moderna na construção de um sistema eletrônico para visualização do Efeito Fotoelétrico, o que facilitou a compreensão.

A metodologia para o desenvolvimento do tema foi subdividida em três partes igualmente importantes, centradas na aprendizagem através do pensar, sentir e agir: questionário de entrada, aulas sobre efeito fotoelétrico e questionário de saída.

Na primeira parte do trabalho, questões específicas sobre o tema Efeito Fotoelétrico foram geradas para elaborar um questionário aplicado aos estudantes em dois momentos distintos: no início e no final da série de atividades.

Os questionários aplicados continham as mesmas questões e seu objetivo foi o de comparação. O uso dessa ferramenta foi importante metodologicamente para o diagnóstico das tendências dos estudantes, no que diz respeito ao ensino e aprendizagem, bem como de seus conhecimentos prévios e posteriores às atividades.

Após a aplicação do questionário de entrada e análise do resultado, com o diagnóstico do conhecimento prévio dos estudantes e planejamento das aulas, foram realizadas aulas práticas sobre o Efeito Fotoelétrico, com desenvolvimento dos principais conceitos.

A reaplicação do questionário em um momento subsequente às aulas práticas foi uma ferramenta de diagnóstico posterior. As respostas dos estudantes, nessa avaliação, conduziram à análise do processo de ensino e aprendizagem sobre os conceitos de Física Moderna presentes no Efeito Fotoelétrico, levando a uma reflexão sobre o planejamento e a metodologia empregada.

### 3.1 QUESTIONÁRIO DE ENTRADA UTILIZANDO ESCALA TIPO LIKERT

O método escolhido para obter informação sobre os conhecimentos prévios dos alunos foi a escala tipo Likert (LIKERT, 1932), desenvolvida na década de 30 pelo norte-americano Rensis Likert. É amplamente aceita, também de fácil construção e utilizada em âmbitos de ensino de física (TALIM, 2004).

Trata-se de um método de mensuração do grau de concordância com uma determinada afirmação. Quando é feita uma afirmação ou questionamento, além de concordar ou discordar, é possível mostrar a intensidade dessa concordância através das extremidades “discordo totalmente” ou “concordo totalmente”, além de um ponto neutro. Portanto, a avaliação é feita em conteúdo e intensidade.

É de fácil manuseio, pois o aluno poderá escolher dentre cinco possibilidades a que melhor expressa seu conhecimento e os resultados são obtidos com um nível mais aprofundado de detalhes.

O questionário objetiva comparações entre o conhecimento prévio dos alunos, através de uma análise anterior às intervenções pedagógicas (questionário de entrada) e um questionário após a intervenção pedagógica (questionário de saída), para verificação da aprendizagem significativa. O planejamento das aulas pode ser, em parte, fundamentado na análise do questionário de entrada.

A elaboração do questionário procurou atingir alguns pontos relevantes, como os explicitados por McClelland (1976), a saber, que um bom questionário deve se mostrar aos respondentes como importante, necessário, breve, sem ambiguidade, permear o mesmo assunto, de simples análise, dentre outras características.

As questões para a construção da Escala de Likert tiveram, como abordagem central, aplicações e conceitos básicos sobre o Efeito Fotoelétrico. A base para a geração das afirmações do questionário foram livros (EISBERG; RESNICK, 1994 e TORRES, C. M. A. et al, 2016), artigos (CAVALCANTE, M. A. et al), textos (MARCELO GLEISER, 2015) e questões presentes em atividades discentes gerais ([vestibular.brasilecola.uol.com.br](http://vestibular.brasilecola.uol.com.br)). A organização dessas questões foi de forma não sequencial aos conceitos que seriam trabalhados, visando não direcionar o aluno às próximas questões.

Após a escolha das questões, para a elaboração do questionário foi solicitado a dois alunos do quarto ano de Eletrônica que respondessem às questões para que eventuais dificuldades de

interpretação fossem reparadas, evitando assim, fuga para temas não centrais enquanto o questionário fosse aplicado. Após devidas correções, os alunos puderam respondê-lo, conforme orientações apresentadas a seguir para escolha da alternativa:

### QUESTIONÁRIO DE ENTRADA

Cada afirmativa contém as seguintes alternativas para escolha:

a) Discordo fortemente	b) Discordo	c) Neutro	d) Concordo	e) Concordo fortemente
------------------------	-------------	-----------	-------------	------------------------

- 1) A energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda.
- 2) A intensidade da corrente fotoelétrica emitida é proporcional à intensidade da radiação incidente.
- 3) Robert Andrews Millikan recebeu o Nobel de Física de 1923, por trabalhos sobre cargas elétricas elementares e o efeito fotoelétrico.
- 4) De acordo com o Princípio da Complementaridade, se uma medida prova o comportamento ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o comportamento corpuscular na mesma medida.
- 5) A explicação do efeito fotoelétrico está baseada em um modelo corpuscular da luz.
- 6) Uma das aplicações do efeito fotoelétrico é permitir acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas.
- 7) O efeito fotoelétrico, descoberto de Einstein, evidencia as propriedades ondulatórias de uma onda eletromagnética.
- 8) Para uma determinada radiação incidente, a velocidade dos elétrons ejetados depende do metal usado na experiência.
- 9) O efeito fotoelétrico fornece evidências das naturezas ondulatória e corpuscular da luz.

- 10) O efeito fotoelétrico só ocorre com a utilização de uma onda eletromagnética na faixa de frequência da luz visível.
- 11) É possível que o efeito fotoelétrico ocorra com luz azul fraca e não ocorra com a luz vermelha intensa.
- 12) Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel por contribuições na Teoria da Relatividade.
- 13) A energia dos elétrons emitidos depende da frequência da radiação incidente.
- 14) A teoria do efeito fotoelétrico afirma que, aumentando a frequência da luz incidente na superfície metálica, é possível arrancar prótons da superfície do metal.
- 15) Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares.
- 16) A função trabalho é a energia necessária para se remover um elétron do metal e independe da substância iluminada pela radiação.
- 17) Considerando que, no vácuo, o comprimento de onda da luz vermelha é maior do que o comprimento de onda da luz azul, a energia dos quanta de luz vermelha é maior do que a energia dos quanta da luz azul.
- 18) A energia cinética dos fotoelétrons não depende da frequência da radiação incidente.
- 19) Emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por uma onda eletromagnética caracteriza o efeito fotoelétrico.
- 20) Quando uma luz monocromática incide sobre uma superfície metálica e não arranca elétrons dela, basta aumentar a sua intensidade para que o efeito fotoelétrico ocorra.

O questionário foi aplicado a 21 alunos da Terceira Série de Técnico em Edificações Integrado ao Ensino Médio e a 19 alunos da Terceira Série de Técnico em Agrimensura Integrado ao Ensino Médio, ambos os cursos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá Coronel Octayde Jorge da Silva, em Cuiabá, perfazendo um total de 40 alunos.



O IFMT - Campus Cuiabá - Cel. Octayde Jorge da Silva foi fundado em 23 de setembro de 1909, através do decreto n.º 7.566, de 23/09/1909, de autoria do Presidente da República Nilo Peçanha. Inaugurado em 1º de janeiro de 1910 como Escola de Aprendizes Artífices de Mato Grosso (EAAMT), tinha como objetivo munir o aluno de uma arte que o habilitasse a exercer uma profissão e a se manter como artífice.

Figura 6 - Entrada de veículos na lateral



<https://servidoresmt.com.br/storage/news/3515/59f231bbc4476.jpg>

Figura 7 - Biblioteca Orlando Nigro



<http://cba.ifmt.edu.br/conteudo/pagina/biblioteca-orlando-nigro/>

Figura 8 - Entrada do refeitório



Fonte: A autora

Através da Lei nº 11.892, de 29/12/2008, publicada no DOU de 30/12/2008, foi criado o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso (IFMT), mediante integração dos Centros Federais de Educação Tecnológica de Mato Grosso e de Cuiabá, e da Escola Agrotécnica Federal de Cáceres.

(<http://cba.ifmt.edu.br/conteudo/pagina/historiadocampuscuiaba/>)

### 3.2 DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A proposta experimental escolhida para nortear a aprendizagem significativa para o efeito fotoelétrico, com baixo custo e fácil desenvolvimento, foi aplicada nas duas turmas e foi desenvolvida com mediação do professor.

Os materiais utilizados no experimento, foram adquiridos numa loja de eletrônica. Ao todo, foram oito itens que compuseram o kit. Em cada turma, foram montados quatro experimentos. Os materiais que constam no experimento estão elencados na tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1- Materiais utilizados para um kit experimental

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>
Protoboard	02
LEDs coloridos (azul, verde, vermelho e branco)	04
Pilhas AA 1,5 V	02
Suporte para duas pilhas AA	01
Resistor de cerâmica	01
LDR	01
Jumper	02
Multímetro	01

Fonte: O autor

Primeiramente, foi trabalhada a prática com o resistor de cerâmica, para verificação da resistência através do multímetro e, também do código de cores. Após a obtenção desses dados através da média aritmética simples de cinco medidas, cujo objetivo é verificar se algum fator estaria interferindo no valor da grandeza física obtida e equilibrar essa discrepância. Dessa forma foi analisada a resistência do LDR tanto com ausência de radiação luminosa quando é perceptível um enorme aumento da sua resistência, conforme Moreira e Lobos (1998, p. 123), quanto com a presença de quatro LEDs com cores distintas. A variedade de cores dos LEDs se justifica nesse momento para que possam fazer comparações através de um campo

experimental maior sobre a frequência dessas radiações luminosas e a sua relação com o efeito fotoelétrico.

A aula experimental teve duração de duas aulas sequenciais. Cada grupo recebeu um roteiro para nortear as atividades que seriam desenvolvidas. Os resultados obtidos foram discutidos entre os grupos, com objetivo de enriquecimento e aprofundamento dos conceitos referentes ao efeito fotoelétrico.

Ao término do processo de aprendizagem, foi aplicado novamente o questionário da Escala de Likert (LIKERT, 1932), para verificação da aprendizagem. O questionário foi aplicado desvinculado do processo de avaliação bimestral. O tempo de uma aula foi utilizado para leitura e respostas às questões.

## **4 RESULTADOS**

Para esse capítulo serão apresentados os resultados obtidos através de três momentos do trabalho:

O primeiro resultado está reservado para as informações obtidas pelo questionário de entrada sob forma de tabela, com objetivo de averiguar os conhecimentos prévios dos alunos.

Os resultados seguintes foram obtidos por observação e medidas experimentais com o intuito de instigar a criticidade em relação aos efeitos vistos e sua relação com conceito do efeito fotoelétrico de forma simples e com baixo custo.

Os últimos dados são originários do questionário de saída, que é composto das mesmas questões do questionário de entrada, cuja finalidade é comparativa, sendo sugerido nesse trabalho para análise do processo de aprendizagem.

### **4.1 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE ENTRADA**

A aplicação do questionário ocorreu durante horário de aula e foi solicitado que a resposta escolhida fosse de maneira autêntica e individual. A orientação foi que marcassem apenas uma alternativa em cada uma das vinte questões apresentadas.

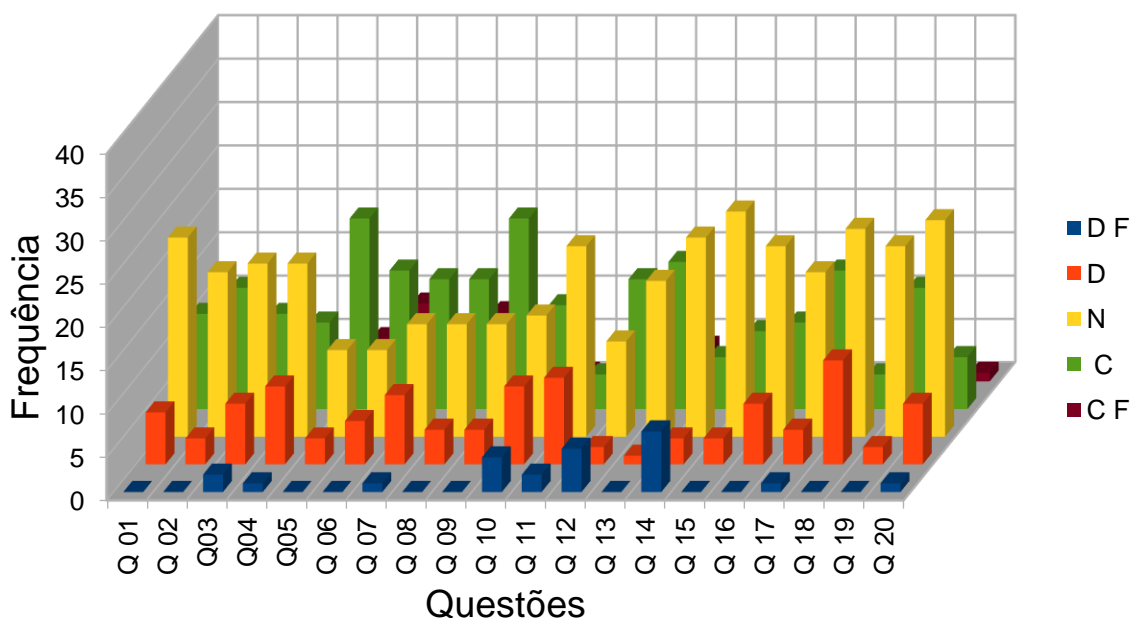
O sentimento de 'serem avaliados' acompanhou todo o processo, mesmo sendo informados pela professora que não teriam uma nota vinculada à atividade desenvolvida. Após esclarecimentos e orientações foram feitas afirmações que demonstravam a insegurança frente uma nova forma de trabalho a ser estabelecida.

Durante a aplicação do questionário sugeriram que deveria ter uma alternativa 'não sei' e que o 'neutro' faria esse papel nesse momento. O ambiente permaneceu bastante silencioso após esses comentários. O tempo que foi utilizado para a leitura e respostas foi de 50 minutos. Apesar da demonstração de insegurança no início do processo, ao término foi possível perceber expectativas em função de novos desafios que iriam vivenciar e, principalmente, pela curiosidade em relação ao novo aprendizado.

Após aplicação do questionário de entrada nas turmas os resultados obtidos foram expressos graficamente e podem ser verificados a seguir:

**Gráfico 6** - Resultados obtidos para vinte questões do questionário de entrada.

### Questões de entrada



#### 4.2 RESULTADOS DOS VALORES DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA NO RESISTOR DE CERÂMICA E NO LDR

O resultado de uma das etapas do trabalho, a saber, os valores da resistência elétrica do resistor de cerâmica e do LDR serão mostrados nesse item. Essas medidas foram feitas após a aplicação do questionário de entrada e do processo ensino-aprendizagem adotado nessa pesquisa para o efeito fotoelétrico.

Os dados da tabela a seguir representam os valores de resistência elétrica obtidos pelos estudantes, em um primeiro momento utilizando o multímetro e, no segundo, através do código de cores. Esses resultados foram obtidos em momentos diferentes.

Os quatro primeiros grupos foram formados por alunos do curso de Técnico em Edificações e os quatro grupos restantes foram formados por alunos do curso Técnico em Agrimensura.

Tabela 4.2.1 – Leitura da resistência

<b>Grupos</b>	<b>Resistência através do multímetro</b>	<b>Resistência através do código de cores</b>
01	178,5Ω	180Ω ± 5%
02	179,3Ω	180Ω ± 5%
03	179,1Ω	180Ω ± 5%
04	179,3Ω	180Ω ± 5%
05	179,0Ω	180Ω ± 5%
06	178,5Ω	180Ω ± 5%
07	177,8Ω	180Ω ± 5%
08	<b>177, 0Ω</b>	<b>180Ω ± 5%</b>

Fonte: A autora

As leituras com o multímetro, apresentadas na tabela 4.2.1, foram realizadas em um tempo relativamente curto e os resultados dos valores de resistência elétrica obtidos pelos grupos foram muito próximos entre si. Os estudantes mostraram habilidade ao aprender a utilizar o multímetro. Embora sejam estudantes de cursos técnicos, ainda não haviam manuseado determinados instrumentos.

Como exemplo de processo de aprendizagem, na leitura através do código de cores, três grupos obtiveram valores muito diferentes da leitura do multímetro e do valor através do código de cores. Refizeram a leitura no multímetro e não constataram erro. A análise do código de cores foi fundamental para dirimir a dúvida. Ao analisar o código de cores, perceberam que o erro estava na escolha da cor e corrigiram os valores.

Ao término dessa etapa, realizaram atividades de familiarização com o LDR (Light Dependent Resistor) e com as *protoboards* para dar sequência ao experimento. Os resultados obtidos para a resistência com a iluminação por LED de cores azul, verde, vermelha, branca e, também, na ausência da luz, seguem na tabela a seguir.

Tabela 4.2.2 – Resistência do LDR

Grupos	Resistência média do LDR LED AZUL	Resistência média do LDR LED VERDE	Resistência média do LDR LED VERMELHA	Resistência média do LDR LED BRANCA	Resistência média do LDR na ausência de radiação luminosa
01	$R = 210\Omega$	$R = 1450\Omega$	$R = 430\Omega$	$R = 550\Omega$	$R = 1,7M\Omega$
02	$R = 382\Omega$	$R = 2800\Omega$	$R = 232\Omega$	$R = 112\Omega$	$R = 1,3M\Omega$
03	$R = 220\Omega$	$R = 1400\Omega$	$R = 525\Omega$	$R = 500\Omega$	$R = 1,1M\Omega$
04	$R = 342\Omega$	$R = 2500\Omega$	$R = 607\Omega$	$R = 345\Omega$	$R = 1,8M\Omega$
05	$R = 160\Omega$	$R = 3600\Omega$	$R = 330\Omega$	$R = 139\Omega$	$R = 1,7M\Omega$
06	$R = 170\Omega$	$R = 2600\Omega$	$R = 507\Omega$	$R = 550\Omega$	$R = 980M\Omega$
07	$R = 138\Omega$	$R = 89\Omega$	$R = 55\Omega$	$R = 142\Omega$	$R = 1,2M\Omega$
08	<b><math>R = 226\Omega</math></b>	<b><math>R = 420\Omega</math></b>	<b><math>R = 185\Omega</math></b>	<b><math>R = 204\Omega</math></b>	<b><math>R = 1,4M\Omega</math></b>

Fonte: A autora

Os resultados apresentados na tabela 4.2.2 são a média aritmética das cinco medidas de resistência. Os estudantes relataram dificuldade nas medidas em função da variação dos valores mostrados no visor do multímetro.

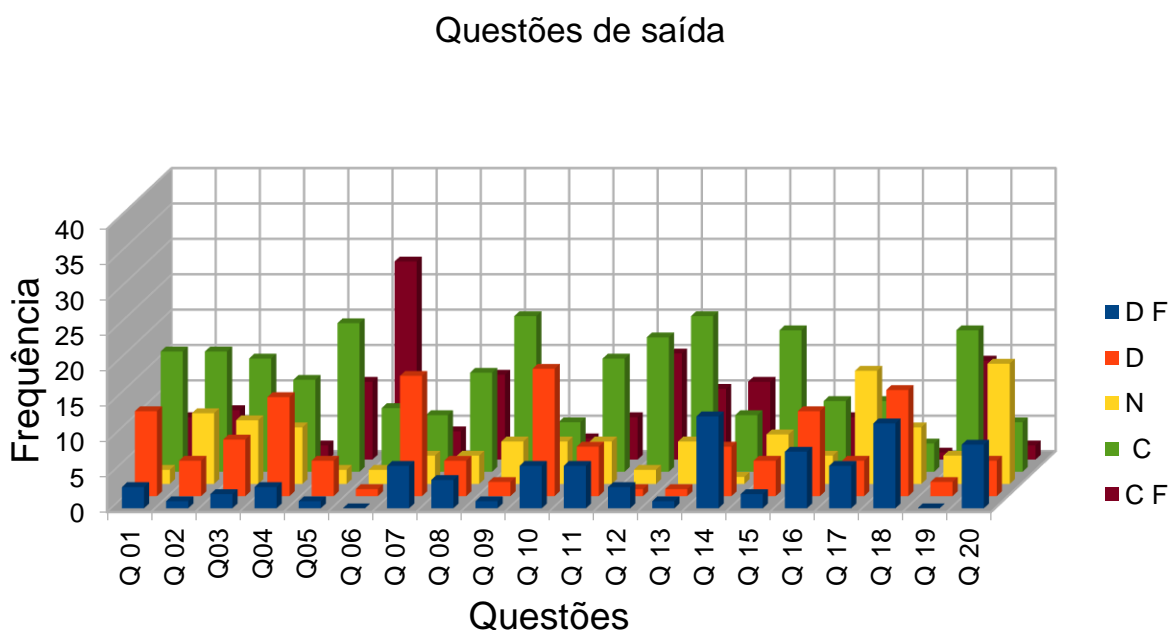
Um grupo optou por cobrir o experimento com uma caixa para reduzir o efeito da iluminação do ambiente e minimizar o erro na leitura do multímetro. Depois de várias tentativas, um aluno sugeriu desligar a luz da sala para continuarem as medidas, de forma que obtivessem resultados melhores. Não houve interferência do professor, com orientações sobre os cuidados durante a aquisição dos dados, justamente para que os estudantes percebessem eventuais diferenças na leitura e pudessem observar e controlar erros sistemáticos que, porventura, ocorressem.

Sem a iluminação da sala, somente a luz de LEDs auxiliavam na visão do experimento. Apesar de não estarem muito próximos, foi analisado por eles que a iluminação por LEDs de outros grupos também interferia nos resultados obtidos. Mudaram o posicionamento de forma a bloquearem essa iluminação indesejada. Com isso, minimizaram consideravelmente os erros sistemáticos que influenciavam as medidas e puderam finalizá-las.

### 4.3 RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO DE SAÍDA

Na sequência dessa proposta didática, o questionário foi reaplicado para as duas turmas, para verificação e diagnóstico da aprendizagem significativa. No gráfico 7, estão os resultados das vinte questões do questionário de saída para posterior análise. Tanto o questionário de entrada quanto o questionário de saída foram respondidos em duas aulas sequenciais.

**Gráfico 7** - Resultados obtidos para vinte questões do questionário de saída.



### 4.4 Análise comparativa dos resultados dos questionários de entrada e saída

Nesse capítulo iremos apresentar uma análise por comparação dos resultados obtidos pelos questionários de entrada e de saída. As questões foram agrupadas de acordo com similaridades do conteúdo trabalhado para que os dados pudessem ser analisados com mais abrangência, buscando dessa forma obter uma visão mais ampla dos resultados obtidos.

#### Questões sobre conceitos de energia

- 01) A energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda.
- 17) Considerando que, no vácuo, o comprimento de onda da luz vermelha é maior do que o comprimento de onda da luz azul, a energia dos quanta de luz vermelha é maior do que a energia dos quanta da luz azul.



As questões 01 e 17 analisam as energias envolvidas no processo de emissão de elétrons por uma superfície metálica devido à influência da radiação luminosa.

Ao responderem o questionário de entrada, 27,5% concordaram que a energia de um fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda, mas apenas 12,5% mantiveram essa escolha ao analisar a questão 17 que é uma aplicação da questão 01, pois relaciona comprimento de onda com energia.

Gráfico 8 – Comparação entre erros e acertos (questão 01)

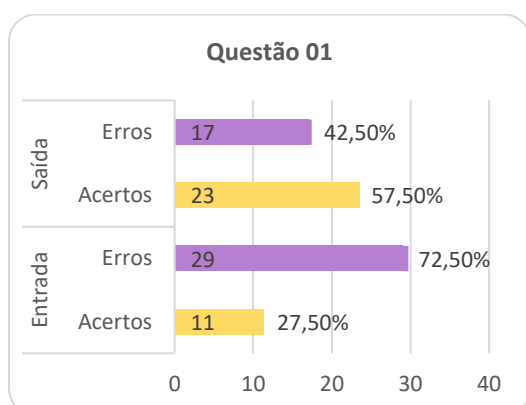
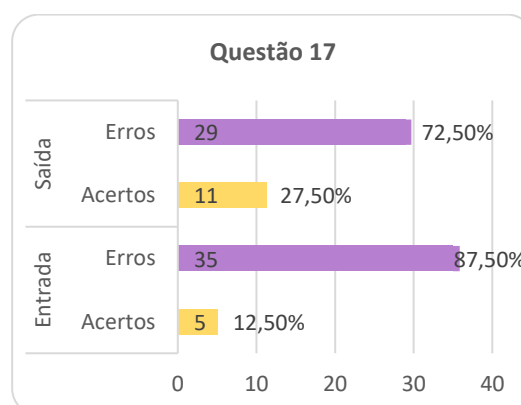


Gráfico 9 - Comparação entre erros e acertos (questão 17)



Apesar de ocorrer um aumento em pontos percentuais no questionário de saída em relação ao resultado esperado, conforme mostra o gráfico 8, 11 alunos que marcaram o resultado esperado na questão 01, não conseguiram aplicar esse conhecimento na questão 17.

A questão 17 traz a temática sobre energia e comprimento de onda com uma dificuldade de interpretação maior, o que nos leva a sugerir a necessidade de mudança na forma de apresentar a questão, conforme é proposto por McClelland (1976).

- 13) A energia dos elétrons emitidos depende da frequência da radiação incidente.
- 18) A energia cinética dos fotoelétrons não depende da frequência da radiação incidente.

O tema de energia fotoemissiva também foi abordado nas questões 13 e 18. No questionário de entrada, 52,5% foram as escolhas favoráveis à afirmativa de dependência entre a energia dos elétrons emitidos e a frequência da radiação incidente. Porém, apenas 30% dos alunos, nesse mesmo questionário, entenderam que há uma relação entre radiação luminosa incidente e a energia cinética adquirida pelos fotoelétrons.

No questionário de saída, houve um acréscimo de 27,5 pontos percentuais na resposta esperada da questão 13 e, na questão 18, acréscimo de 37,5 pontos percentuais. Ou seja, 67,5% dos alunos entenderam que há relação entre a energia cinética dos fotoelétrons e a frequência da radiação incidente.

Gráfico 10 - Comparação entre erros e acertos (questão 13)

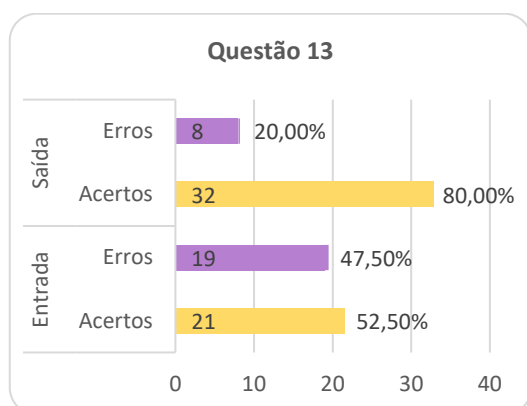
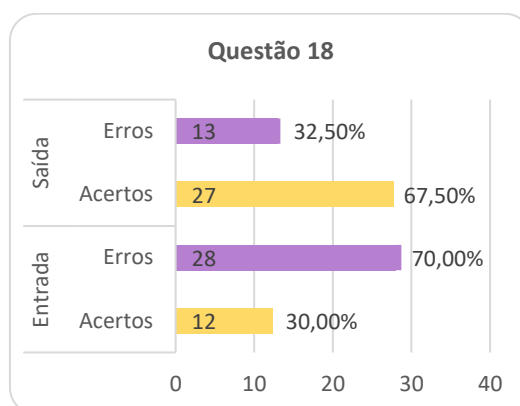


Gráfico 11 - Comparação entre erros e acertos (questão 18)



A análise desses dados nos remete à observação da mudança do valor de resistência de um LDR que foi submetido a radiações luminosas diferentes e foi experienciada pelos alunos durante a obtenção de dados no experimento para calcular a resistência elétrica de um resistor. Essa singularidade também foi analisada sob postulado de Planck e corroborada por Einstein, sendo um dos conceitos de difícil aceitação para Planck.

O conceito de energia relacionado ao efeito fotoelétrico foi vivenciado de maneira muito receptiva pelos alunos ao realizarem o experimento sobre valor de resistência elétrica.

Um grupo citou: *“Dessa forma é muito mais simples entender o conteúdo. No início achamos a matéria muito difícil. Com o experimento ficou tudo mais claro.”*

A citação do grupo em conjunto com as condições de envolvimento no desempenho para obtenção das medidas e compreensão da atividade reforça que podemos obter bons resultados com estratégias pouco sofisticadas e atividades colaborativas (MOREIRA, 2000).

### Questões sobre intensidade da radiação incidente

- 02) A intensidade da corrente fotoelétrica emitida é proporcional à intensidade da radiação incidente.
- 20) Quando uma luz monocromática incide sobre uma superfície metálica e não arranca elétrons dela, basta aumentar a sua intensidade para que o efeito fotoelétrico ocorra.

Essas questões verificam se o conceito de intensidade da radiação incidente está ou não vinculado com a liberação de elétrons da superfície metálica e com a quantidade deles.

A análise feita nas questões 02 e 20 do questionário de entrada, mostra que o percentual que concordou com o fato de a intensidade de radiação incidente influenciar na intensidade da corrente fotoelétrica foi de 45%. Um número menor, 20% dos alunos, relacionou o aumento da intensidade de uma luz monocromática com o surgimento do efeito fotoelétrico.

Na nova observação no questionário de saída, tanto na questão 02, quanto na questão 20, foi apontado aumento de questões com respostas esperadas. Em ambas as questões, houve um crescimento de 15 pontos percentuais.

Gráfico 12 - Comparação entre erros e acertos (questão 02)

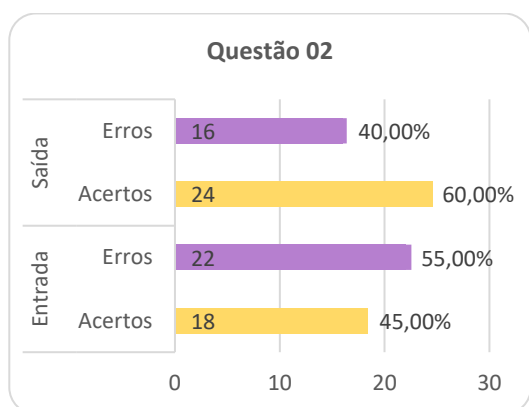
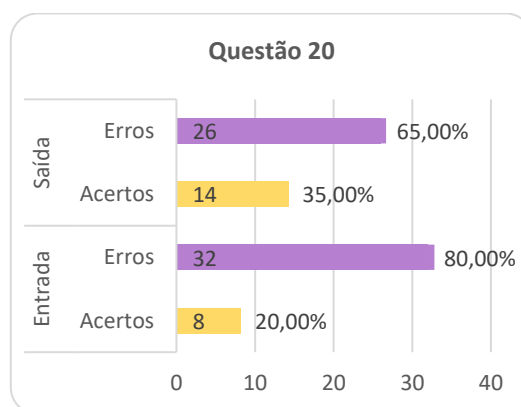


Gráfico 13 - Comparação entre erros e acertos (questão 20)



Nessa análise, outro conceito importante e instigador do tema efeito fotoelétrico foi proposto para ser analisado pelos alunos. Essa questão levantou uma discussão em sala quando foi trabalhada, pois a expectativa era o pensamento clássico sobre acúmulo de energia: à medida que a energia aumenta o processo deverá iniciar, pois atingiu um valor limite.

### Questões sobre Nobel de Física em 1921 e 1923

- 03) Robert Andrews Millikan recebeu o Nobel de Física de 1923, por trabalhos sobre cargas elétricas elementares e o efeito fotoelétrico.
- 12) Albert Einstein recebeu o Prêmio Nobel por contribuições na Teoria da Relatividade.

A questão 03 afirma que Robert Andrews Millikan recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1923 por trabalhos sobre carga elétricas elementares e o efeito fotoelétrico. Albert Einstein é citado na questão 12 como premiado com o Prêmio Nobel de Física por contribuições na Teoria da Relatividade.

No questionário de entrada, 27,5% dos alunos marcaram a resposta esperada na questão 03 e 17,5% foi o percentual de alunos que marcaram as respostas esperadas na questão 12.

Após as aulas sobre o assunto, 55% dos alunos marcaram a resposta esperada na questão 03 e o percentual da questão 12 diminuiu em 7,5 pontos percentuais.

Gráfico 14 - Comparação entre erros e acertos (questão 03)

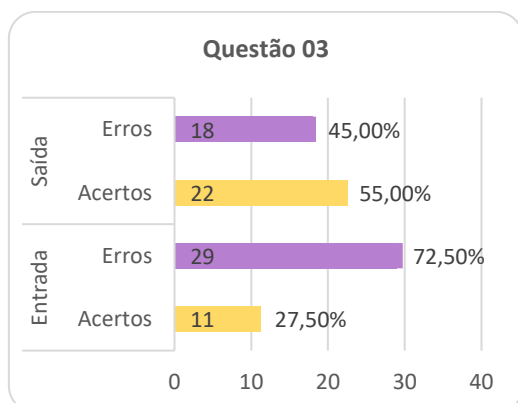
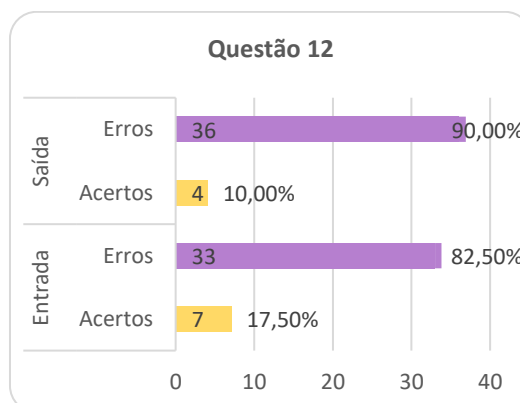


Gráfico 15 - Comparação entre erros e acertos (questão 12)



Apesar de ser atingido o dobro do percentual de respostas esperadas na questão de número 03, a questão 12 chamou a atenção por apresentar uma redução no quantitativo de respostas esperadas, mesmo não abordando temas conflitantes ou de difícil compreensão. Vemos aqui um indício de aprendizagem previamente estabelecida com dificuldade de mudança pelos organizadores prévios. Por vezes a informação absorvida culturalmente não tem relação com o conhecimento científico, mas pela forma abrangente e repetitiva que é repassado se torna verdadeiro.

## Questões sobre Princípio da Complementaridade

- 04) De acordo com o Princípio da Complementaridade, se uma medida prova o comportamento ondulatório da radiação ou da matéria, então é impossível provar o comportamento corpuscular na mesma medida.
- 15) Os modelos corpuscular e ondulatório são complementares.

A caracterização da dualidade onda-partícula está limitada à forma de observação. As questões 04 e 15 exploram esse assunto.

As respostas esperadas, através de conhecimentos prévios, foram marcadas por 25% dos alunos na questão 04 e 27,5% dos alunos na questão 15.

Após aplicação do processo de ensino-aprendizagem, durante a aplicação do questionário de saída, esse percentual mudou para 37,5% na questão 04 e 65% na questão 15.

Gráfico 16 - Comparação entre erros e acertos (questão 04)

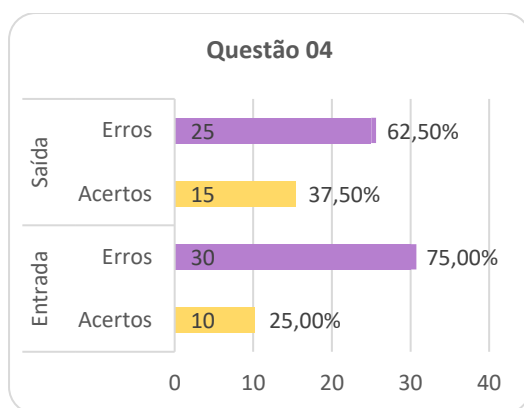
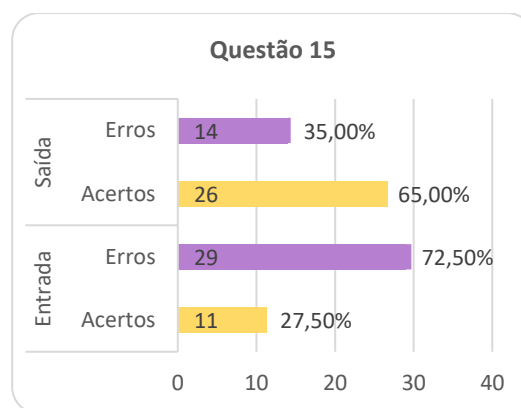


Gráfico 17 - Comparação entre erros e acertos (questão 15)



Na questão 04 ocorreu um aumento de 12,5 pontos percentuais e, na questão 15, um aumento de 37,5 pontos percentuais. Houve um aumento maior na escolha das respostas esperadas na questão 15, que foi citada por um aluno durante a aplicação do questionário de saída como 'questão muito fácil'. A dificuldade da interpretação da questão 04 foi relatada por alguns alunos e, possivelmente não permitiu um índice maior de respostas esperadas.

## Questões sobre caráter corpuscular da radiação luminosa

- 05) A explicação do efeito fotoelétrico está baseada em um modelo corpuscular da luz.
- 07) O efeito fotoelétrico, descoberta de Einstein, evidencia as propriedades ondulatórias de uma onda eletromagnética.
- 09) O efeito fotoelétrico fornece evidências das naturezas ondulatória e corpuscular da luz.
- 19) Emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por uma onda eletromagnética caracteriza o efeito fotoelétrico.

As questões 05, 07, 09 e 19, enfatizam o modelo corpuscular da luz para explicação do efeito fotoelétrico. Entender que a radiação luminosa interage como partícula é condição *sine qua non* para que o aluno possa ampliar seu conhecimento sobre aplicações de Física Moderna e para que possa perceber que o método científico é a correção sistemática de erros e que o conhecimento atual acaba, por vezes, sendo provisório (MOREIRA, 2000). Subjaz nessa compreensão uma análise crítica enriquecedora.

Durante a aplicação do questionário de entrada, foram marcados resultados esperados por 67,5% dos participantes na questão 05 e 22,5% relativo à questão 07. Na questão 09, o resultado esperado foi atingido por 57,5% dos alunos e a questão 19 alcançou 40% dos alunos que escolheram o resultado esperado.

Um acréscimo de 12,5 pontos percentuais foi obtido na questão 05 na aplicação do questionário de saída. Na questão 07, 35 pontos percentuais foram adicionados a quantidade de marcação de resultado esperado. As questões 09 e 19 obtiveram aumento de 17,5 e 45 pontos percentuais, respectivamente.

Gráfico 18 - Comparação entre erros e acertos (questão 05)

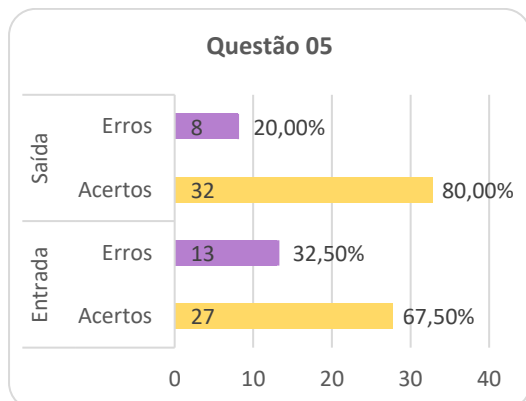


Gráfico 19 - Comparação entre erros e acertos (questão 07)

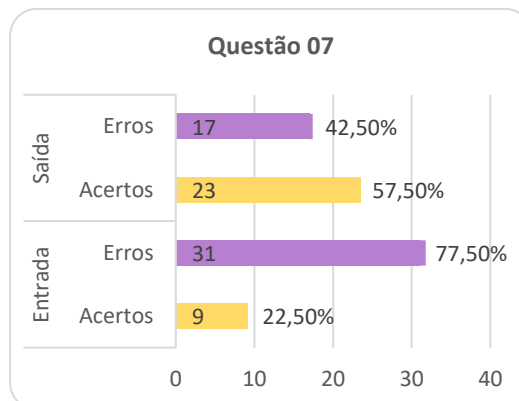


Gráfico 20 - Comparação entre erros e acertos (questão 09)

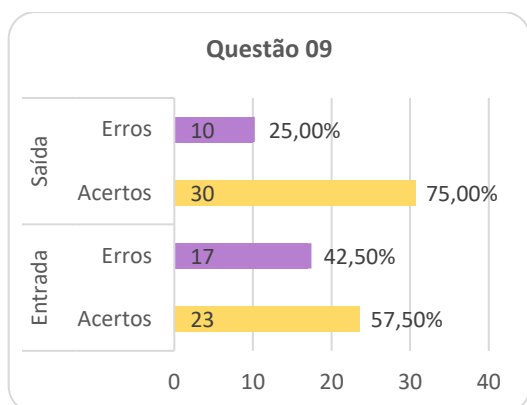
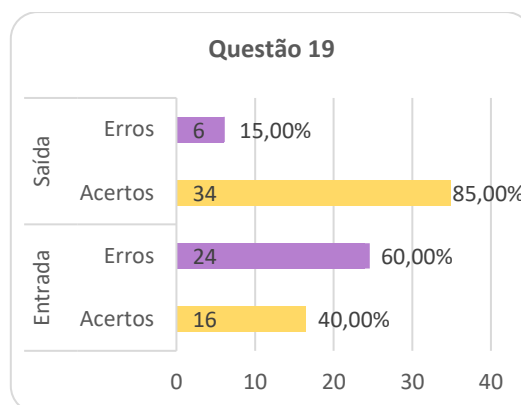


Gráfico 21 - Comparação entre erros e acertos (questão 19)



As questões 07 e 19 tiveram resultados bastantes expressivos. Muitos conceitos envolvidos tiveram destaque especial no experimento, como a questão 19. Só é possível a aprendizagem significativa quando se percebe e aceita as ricas diferenças que são trazidas para o ambiente escolar através do conhecimento prévio.

Ao perguntar às turmas de que forma alguns conhecimentos prévios foram obtidos por eles, a resposta obtida foi de que parte desse conhecimento foi conquistado por meio de programas de televisão. Foram citados, também, aulas de química, filmes e estudos individualizados.

### Questão sobre aplicação do efeito fotoelétrico

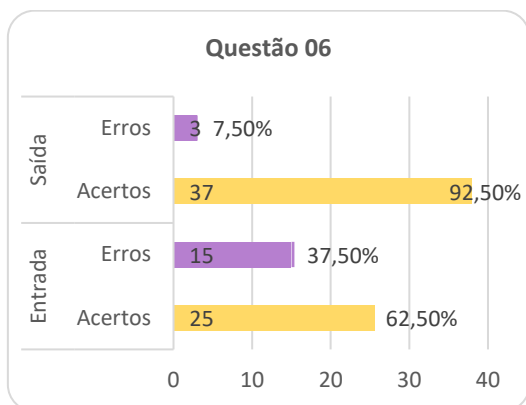
06) Uma das aplicações do efeito fotoelétrico é permitir acender e desligar automaticamente a iluminação de ruas.

O efeito fotoelétrico é aplicado para acender e apagar as lâmpadas que compõe a iluminação pública. Essa foi uma das discussões iniciais do nosso estudo sobre efeito fotoelétrico e foi citada na questão 06 do questionário.

O percentual de respostas esperadas no questionário de entrada nessa questão, foi de 62,5%.

Na aplicação do questionário de saída, houve um aumento de 30 pontos percentuais.

Gráfico 22 - Comparação entre erros e acertos (questão 06)



A questão 06 está entre as questões com maior aumento de respostas esperadas após a aplicação da metodologia escolhida no trabalho. Isso evidencia o quanto a aplicação do conteúdo em tecnologias do cotidiano tem um papel importante na aquisição do conhecimento.

### Questões sobre função trabalho do metal

- 08) Para uma determinada radiação incidente, a velocidade dos elétrons ejetados depende do metal usado na experiência.
- 14) A teoria do efeito fotoelétrico afirma que, aumentando a frequência da luz incidente na superfície metálica, é possível arrancar prótons da superfície do metal.
- 16) A função trabalho é a energia necessária para se remover um elétron do metal e independe da substância iluminada pela radiação.

Existe uma energia necessária para arrancar elétrons do metal e é intrínseca a cada material. As questões 08, 14 e 16 abordaram esse assunto. As questões que atingiram as respostas esperadas no questionário de entrada, somaram 57,5% do total de alunos na questão 08. Para o mesmo questionário, as questões 14 e 16, marcaram, respectivamente, 25% e 17,5%.

Foi acrescentado 7,5 pontos percentuais nas respostas esperadas do questionário de saída da questão 08. Na questão 14 houve aumento de 25 pontos percentuais e a questão 16 mostrou o aumento de 32,5 pontos percentuais.



Gráfico 23 - Comparação entre erros e acertos (questão 08)

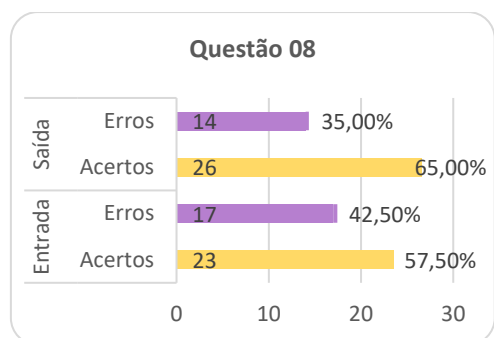


Gráfico 24 - Comparação entre erros e acertos (questão 14)

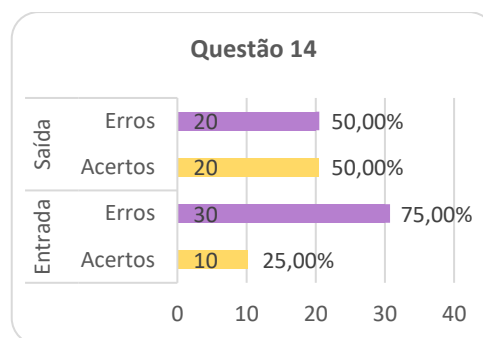
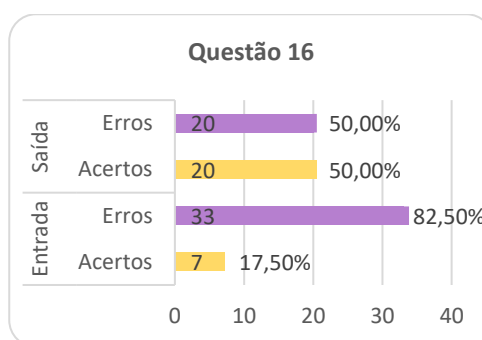


Gráfico 25 - Comparação entre erros e acertos (questão 16)



Nesse momento, percebe-se a importância do experimento realizado, através da diferença nos pontos percentuais acrescidos em cada questão. A questão 08 não foi contemplada no experimento. As questões 14 e 16 foram discutidas através de indagações, enquanto o experimento era verificado.

### Questões sobre relação entre efeito fotoelétrico, frequência e intensidade de radiação incidente

- 10) O efeito fotoelétrico só ocorre com a utilização de uma onda eletromagnética na faixa de frequência da luz visível.
- 11) É possível que o efeito fotoelétrico ocorra com luz azul fraca e não ocorra com a luz vermelha intensa.

Para que o efeito fotoelétrico ocorra é necessário que a radiação luminosa incidente tenha uma frequência maior e igual que a frequência de corte. A intensidade da radiação luminosa incidente não tem relação com o surgimento do efeito fotoelétrico, mas sim com a quantidade

de fótons emitidos. Os alunos responderam as questões 10 e 11 no questionário de entrada que abordavam esses conhecimentos.

32,5% dos alunos marcaram o resultado esperado na questão 10 e, na questão 11, 15% dos alunos marcaram o resultado esperado.

No questionário de saída os percentuais foram de 60% para o resultado esperado na questão 10 e de 55% na questão 11.

Gráfico 26 - Comparação entre erros e acertos (questão 10)

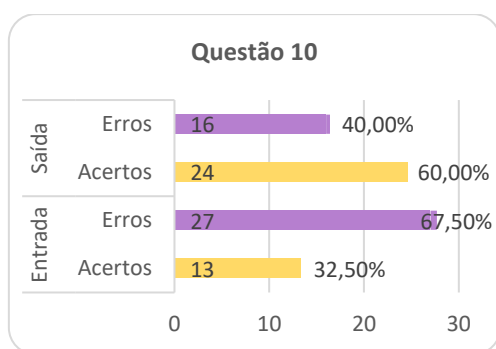
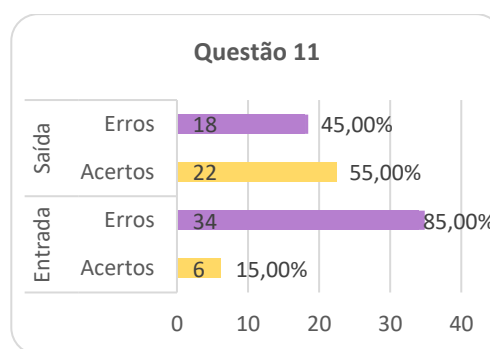


Gráfico 27 - Comparação entre erros e acertos (questão 11)



A questão 10 mostrou um aumento de 27,5 pontos percentuais no resultado esperado e a questão 11 teve aumento de 40 pontos percentuais.

Essa discussão foi retomada durante o experimento. Foi possível fazer medidas com LEDs de cores diferentes, tornando a atividade prática mais um elemento de subsídio para a aprendizagem em sala de aula.

## 5 Considerações Finais

A possibilidade de realização e conclusão desse trabalho perpassou por interações exitosas. Desde a escolha do tema a ser trabalhado que fosse motivacional ao aluno e, também, a escolha das turmas, foi a nossa mola impulsora. A recepção foi afetuosa e animadora por parte das turmas.

Cada passo ou alteração de direção foi tomado para que o processo estivesse o mais próximo possível de uma aprendizagem significativa. Surge uma aproximação natural nesse processo ensino-aprendizagem, pois somos despertados para um aluno perceptor, que enxerga o mundo sob seu prisma. Ser mediador nesse processo é estar próximo, é estar junto, interferindo e fazendo mediações com materiais educativos que sejam potencialmente significativos.

Perceber que, em um mundo com acesso fácil à tecnologia e distrações digitais, trazer o aluno para a vivência na sala de aula torna-se um ato consentido. E, o envolvimento do aprendiz é fator de decisão no processo ensino-aprendizagem. Um aluno atuante em sala enriquece a aula sobremaneira, pela diversidade de conhecimento que carrega através de sua vivência.

Foi notório a participação ativa das turmas, pois todos contribuíram durante as aulas. Nas falas, sempre citavam filmes, séries, documentários, que serviam de referência para alicerçar a afirmativa que traziam. Ao conduzir a aula, era perceptível a euforia dos estudantes ao contribuir através da busca sobre os temas que tinham sido abordados na semana anterior.

Essa clareza de aceitação e envolvimento por parte das turmas trouxe ao trabalho grande enriquecimento. A interação durante as aulas de física e o amadurecimento na aquisição do conhecimento foi vivenciada sobremaneira. A forma como foi trabalhado o conteúdo mostrou ser potencialmente atrativa, pois trouxe ao aluno compreensão de princípios físicos envolvidos em tecnologias de seu cotidiano e, ainda mais, possibilitou que o conhecimento anterior fosse aproveitado e pudesse fazer sentido. A cada atividade proposta e executada era comum comentários sobre facilidade em entender a matéria e sobre a motivação que tinham nesse processo.

Isso indica que existe um amplo trabalho a ser feito para que se possa atingir com melhor êxito a aprendizagem significativa dos alunos. Explorar os conceitos da Física Moderna tornará possível aos estudantes um avanço em sua forma de observar o mundo, interferindo assim no seu modelo mental.

Tornar o aluno ciente do mundo que o cerca através do conhecimento, o fará entender as implicações desse saber, formando cidadãos conscienciosos e críticos para com sua atuação na sociedade.

## REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. 1ª ed. Lisboa: Plátano, p. 226, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Tradução Eva Nick. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. **Física 3: Eletricidade Física Moderna**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

BRASIL ESCOLA. **Downloads**. Disponível em: <<https://vestibular.brasilecola.uol.com.br>>. Acesso em: 12 jul. 2018.

CAVALCANTE, M. A. et al. Efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 24-29, maio 2002.

COELHO, J. V. **Mecânica quântica**. Cuiabá. Editora Universitária, p. 22-27, 1993.

DIONÍSIO, P. H. **Albert Einstein e a Física Quântica**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 2, p. 147-164, ago. 2005.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física quântica - átomos, moléculas e partículas**. Editora Campus, p. 19 -101, 1994.

FEIJOO, A. M. L. C. D. **A pesquisa e a estatística na psicologia e na educação: Medidas de tendência central**. on-line. ed. Rio de Janeiro: Biblioteca virtual de ciências humanas Edelstein de pesquisas sociais, p. 14-22, 2010.

FÍSICA E VESTIBULAR. **Física e vestibular universidades**. Disponível em: <<http://fisicaevestibular.com.br>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

GOYA, A.; BZUNECK, A.; GUIMARÃES, S. E.R. **Crenças de eficácia de professores e motivação de adolescentes para aprender Física**. Revista Semestral da associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional (ABRAPEE), v. 12, n. 2, p. 51-67, jul. 2008

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. **Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio**. Caderno brasileiro de ensino de física, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 224-248, ago. 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 4**. 4 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1996.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes**. Archives of Psychology. v. 22, p. 140, 1932.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo, Editora Pedagógica e Universitária, 1986.

MAHONEY, A. A. **Emoção e ação pedagógica na infância: contribuições da psicologia humanista**. Temas em Psicologia. São Paulo, n. 3, p. 67-72, 1993.

MANGILI, A. I.; **Heinrich Rudolph Hertz e a “descoberta” do efeito fotoelétrico: um exemplo dos cuidados que devemos ter ao utilizar a história da ciência na sala de aula**. História da ciência e ensino: construindo interfaces, São Paulo, v. 6, p. 32-48, nov. 2012.

MCCLELLAND, J. A.G. **Técnica de questionário para pesquisa**. Revista brasileira de física: III simpósio nacional de física (ATAS), São Paulo, v. especial, n. 1, p. 93-101, jul.1976.

MCLEOD, D. B. **Research on affect in mathematics education: a reconceptualization**. In: GROWS, D. A. (Ed). Handbook of research on mathematics teaching and learning. New York: Ed. Macmillan N.C.T.M., p. 575-596, 1992.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Actas del II Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos: Universidad de Burgos, 1997.

MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora, 2010.

MOREIRA, M. A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Currículum, La Laguna, Espanha, 2012.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem** – São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa crítica**. Versão revisada e estendida de conferência proferida no *III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, Lisboa (Peniche). Publicado nas Atas desse Encontro, pp. 33 – 45, com o título original de *Aprendizagem significativa subversiva*, 2000.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.A.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

NOVAK, J.D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira, 1981.

PAULO, I. J. C. D.; SOUSA, C. M. S. G. D. **A Teoria da Aprendizagem Significativa e Seus Desdobramentos na Dinâmica de Ensinar e Aprender Ciências**. Cuiabá: UFMT/UAB, p. 1-70, 2011.

SALTINI, C.J.P. **A emoção na educação: afetividade & inteligência**. Rio de Janeiro: D.P. & A Editora, 1997.

TALIM, S. L. **A atitude no ensino de física**. Caderno brasileiro de ensino de física, Belo Horizonte, v. 21, n. 3, p. 313-324, jul./2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6422/5938>. Acesso em: 16 mai. 2019

TORRES, C. M. A. et al. **Física ciência e tecnologia 3: Eletromagnetismo, Física Moderna**. 4 ed. São Paulo: Moderna, 2016.

SILVA, A. C. D.; ALMEIDA, M. J. P. M. D. **Física Quântica no Ensino Médio: O Que Dizem as Pesquisas**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011.

SILVEIRA, F. L. **Construção e validação de uma escala de atitude em relação à disciplina de Física Geral**. Revista Brasileira de Física, v.8, n. 3, p. 871-878, 1979.

VALADARES, E. D. C.; MOREIRA, A. M. **Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.15, n. 2, p. 121-135, ago.1998.