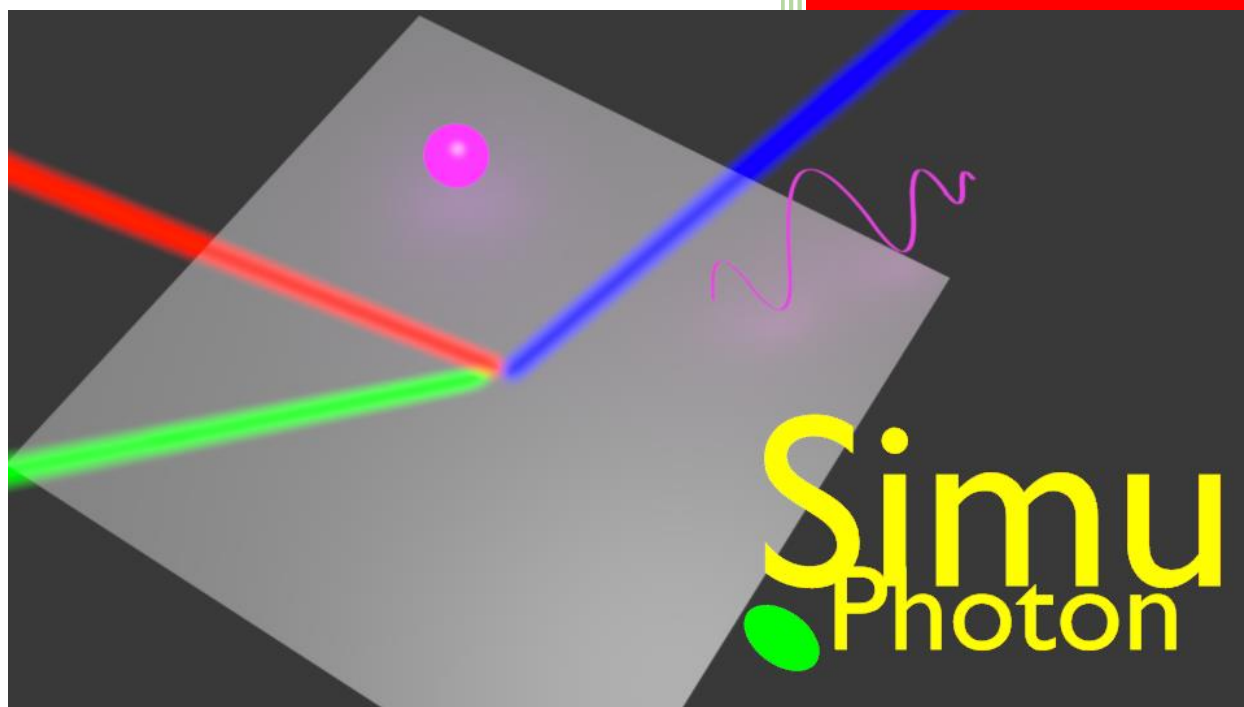


**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

# Produto Educacional



**Caio Fernando Rocha Silva**

## **Sumário**

<b>Apresentação</b> .....	2
<b>Sinopse</b> .....	3
<b>Fundamentos Teóricos</b> .....	3
<b>Comprimento de onda</b> .....	5
<b>Intensidade da Luz</b> .....	6
<b>DDP</b> .....	6
<b>Material da Placa</b> .....	6
<b>Gráfico da função trabalho</b> .....	7
<b>Execução das atividades</b> .....	7
Atividade 01 .....	8
Atividade 02 .....	11
<b>Sequência didática</b> .....	14

## **Apresentação**

Prezado professor e usuário,

É notório os desafios e as dificuldades que enfrentamos em relação ao ensino de ciências, sobretudo no ensino de física, seja por desinteresse por parte dos alunos, seja por parte dos professores, que diante da falta de planejamento ou do conhecimento de recursos e ferramentas pedagógicas que permitam abordar determinado conteúdo de modo rápido e eficiente, se sentem desmotivados. Diante desse paradigma, a apresentação de metodologias ou de ferramentas de cunho didática-pedagógica são elementos da pesquisa em ensino que visam promover soluções relacionadas aos problemas supracitados, sobretudo no contexto das novas tecnologias.

Este guia tem como objetivo oferecer informações de uso e aplicação por meio de uma sequência didática relacionada ao produto educacional *SimuPhoton*, um software desenvolvido no MNPEF polo Marabá que tem como plataforma de criação o software *Blender Game Engine 2.79*, um software livre dedicado a modelagem, computação gráfica, ambientes virtuais e desenvolvimentos de jogos 3D.

O *SimuPhoton* tem por finalidade ser uma ferramenta pedagógica que busca auxiliar alunos e professores no ensino e aprendizagem dos principais conceitos envolvendo o fenômeno do *efeito fotoelétrico*, tema este que é considerado um marco na história e no desenvolvimento da física e responsável por um número considerável de aplicações tecnológicas e, também, responsável por conceder a Albert Einstein o prêmio Nobel em 1915, por sua explicação dada a este efeito.

O *SimuPhoton* é um ambiente de simulação interativa computacional, com o qual alunos e professores poderão criar situações que busquem visualizar, de modo dinâmico, relações envolvidas na descrição do efeito fotoelétrico. As principais variáveis envolvidas neste efeito poderão ser manipuladas e o resultado poderá ser

observado diretamente na interface que em conjunto com um roteiro de atividades busca diminuir o caráter abstrato deste conteúdo.

## Sinopse

Ao abrir o *SimuPhoton*, a seguinte janela inicial será apresentada, conforme ilustrado na figura 1.

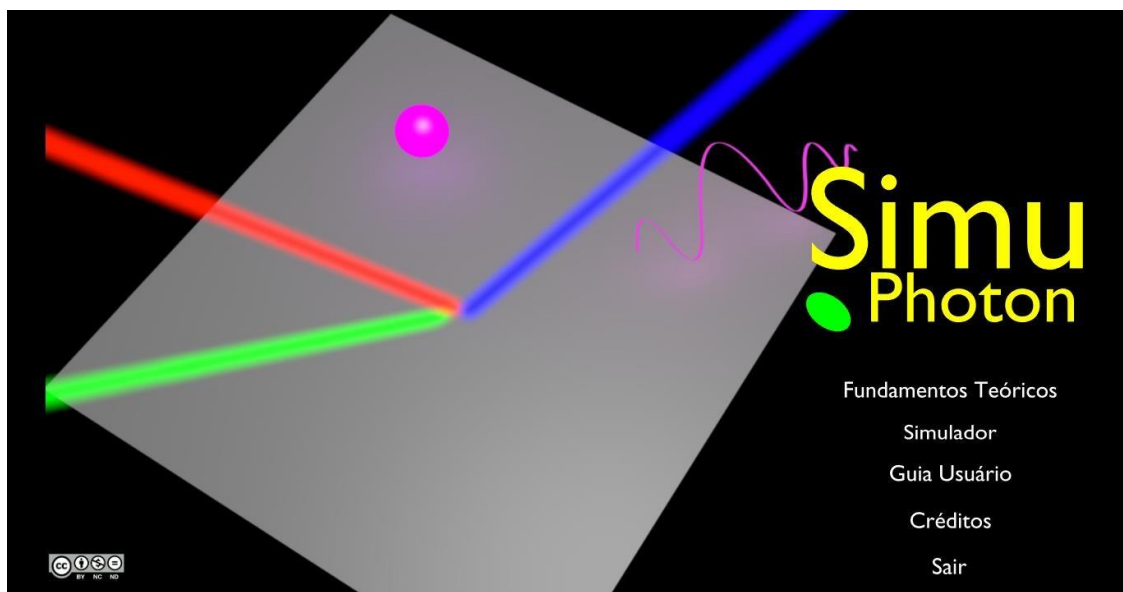


Figura 1: Interface Inicial do SimuPhoton

Ao lado temos as opções “*Fundamentos Teóricos*”, “*Simulador*”, “*Guia Usuário*”, “*Créditos*”.

## Fundamentos Teóricos

Neste menu é apresentado uma breve contextualização histórica a respeito do desenvolvimento do efeito fotoelétrico, bem como, a apresentação de alguns conceitos importantes para a sua descrição. É apresentada o conceito de energia associada a um fóton de luz, constante de Planck, função trabalho dos materiais envolvidos na simulação, frequência de corte e aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano. Ele tem o objetivo de apresentar um panorama geral do efeito fotoelétrico e de caráter não obrigatório.

## Simulador

Nesta opção o usuário é direcionado ao ambiente de simulação ilustrado na figura 2.

- 1- Lanterna.
- 2- Fonte de Alimentação e medidor de corrente.
- 3- Célula Fotoelétrica.
- 4- Retornar ao menu inicial.
- 5- Painéis indicador de energia de fótons e elétrons ejetados
- 6- Gráfico da função trabalho
- 7- Pausar e continuar simulação.
- 8- Seletor de frequência/comprimento on
- 9- Reiniciar simulador.

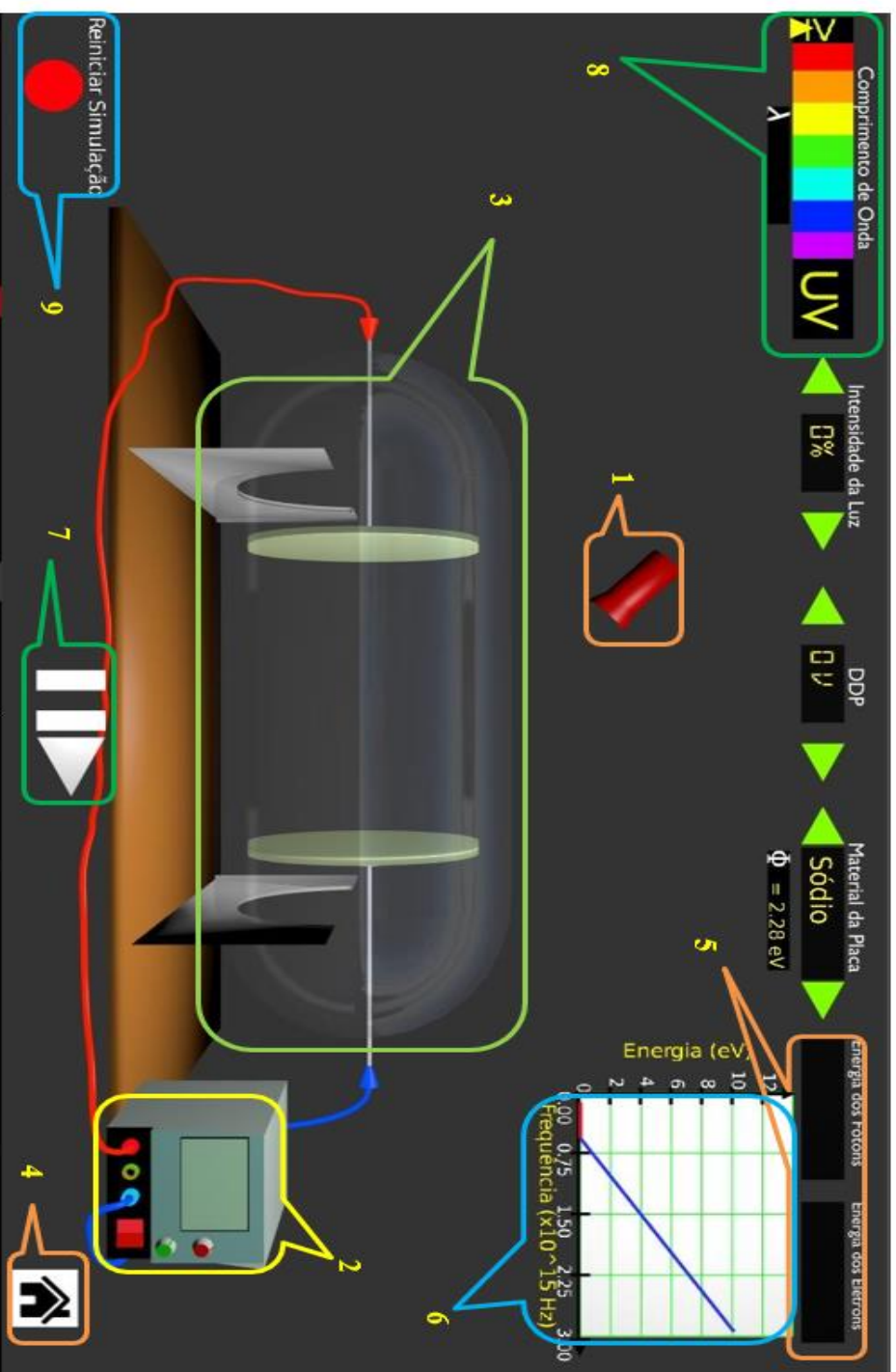


Figura 2: Interface de Simulação

Todos os parâmetros apresentados no painel do simulador podem ter seus valores mudados, sobrepondo o mouse no item e clicando nos respectivos ícones, apresentados na figura 3.

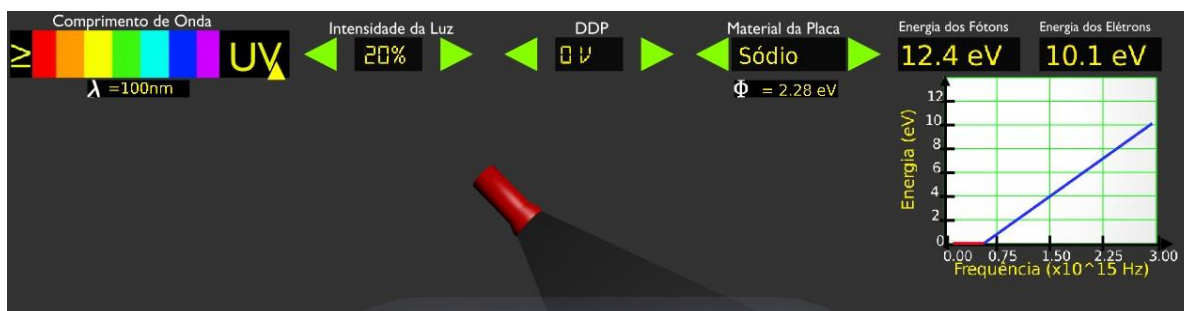


Figura 3: Ícones para variação dos parâmetros do efeito fotoelétrico.

### Comprimento de onda

O ícone “Comprimento de Onda” está relacionado diretamente a frequência da radiação que irá incidir sobre a placa. Logo abaixo desse ícone, o usuário poderá selecionar a respectiva cor que corresponderá ao comprimento de onda associado ao espectro de luz visível.

Nas áreas de seleção do comprimento de onda é possível notar as siglas “IV” e “UV” que significam, respectivamente, infravermelho e ultravioleta, com comprimentos de ondas dados por 800 nm, para o IV, 300 nm, 200 nm e 100 nm para o UV.

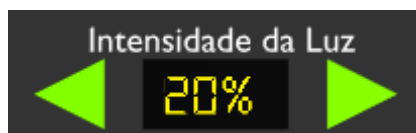


Figura 3: Seletor para o comprimento de onda.

Também será observada a movimentação de uma seta indicadora amarela ao selecionar o comprimento de onda respectivo.

## Intensidade da Luz

Nesta opção é possível aumentar ou diminuir a intensidade da radiação eletromagnética (ou luz) emitida pela lanterna. Os valores variam percentualmente entre 0% e 100% e seu valor pode ser mudado clicando sobre um dos ícones em forma de uma seta verde, como ilustra a figura 4.



*Figura 4: Seletor para a intensidade da luz.*

## DDP

Nesta opção o usuário poderá controlar a diferença de potencial elétrico entre as placas e, conseqüentemente, a força elétrica que age sobre os elétrons ejetados no material. DDP é a abreviação para diferença de potencial, e esta é estabelecida pela fonte associada ao circuito elétrico. Ao clicar sobre os ícones em forma de setas, à esquerda e à direita os elétrons podem ser acelerados ou freados conforme a intensidade da DDP, como ilustrado na figura 5. Nessa simulação, os valores de DDP são variados com um incremento de 0.5 V, em um intervalo de -2.5 V à 2.5 V.



*Figura 5: Seletor para a diferença de potencial.*

## Material da Placa

Esta opção indica a seleção do material ao qual a radiação irá incidir. Para cada material selecionado também é indicado seu valor de função trabalho, que indica o valor mínimo de energia que deverá ter a radiação a ser incidida sobre a placa metálica para que seja ejetado os elétrons do material, conforme ilustrado na figura 6. Nesta simulação os valores de frequência são tomados de maneira discreta, de maneira a dificultar a obtenção exata da frequência de corte

durante a simulação. Os materiais disponíveis para a simulação são: Sódio, Zinco, Cobre, Platina, Cálcio, Magnésio.



Figura 6: Seletor para material da placa e função trabalho.

### Gráfico da função trabalho

De acordo com a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, o tipo de elemento químico que compõe a placa a ser incidida pela radiação eletromagnética é importante para a observação do efeito fotoelétrico. A função trabalho que caracteriza cada material nesta simulação determina o tipo de curva no gráfico de Energia x Frequência. Assim, a medida em que se escolhe o material a ser utilizado durante a simulação, podemos observar seu respectivo gráfico na simulação, conforme a figura 7.

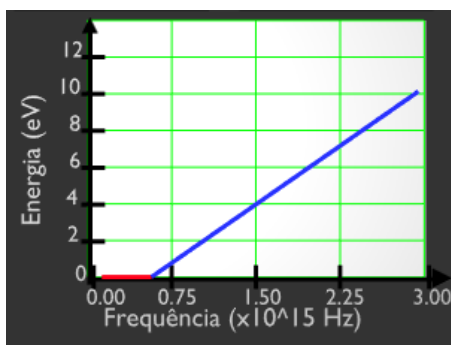


Figura 7: Gráfico Energia x Frequência do efeito fotoelétrico.

### Execução das atividades

As atividades com esse software podem ser executadas de acordo com a metodologia dos três momentos de Delizoicov (3MP), ou através daquela que o professor achar conveniente e de acordo com as situações, é recomendado que os próprios alunos interajam diretamente com o simulador, a fim de uma aprendizagem mais ativa e focada.



## Atividade 01

**Objetivo:** Entender a relação que há entre intensidade da luz incidente e o número de elétrons arrancados do material.

- Abra o SimuPhoton na opção simulador e abra o painel do simulador conforme a figura abaixo:

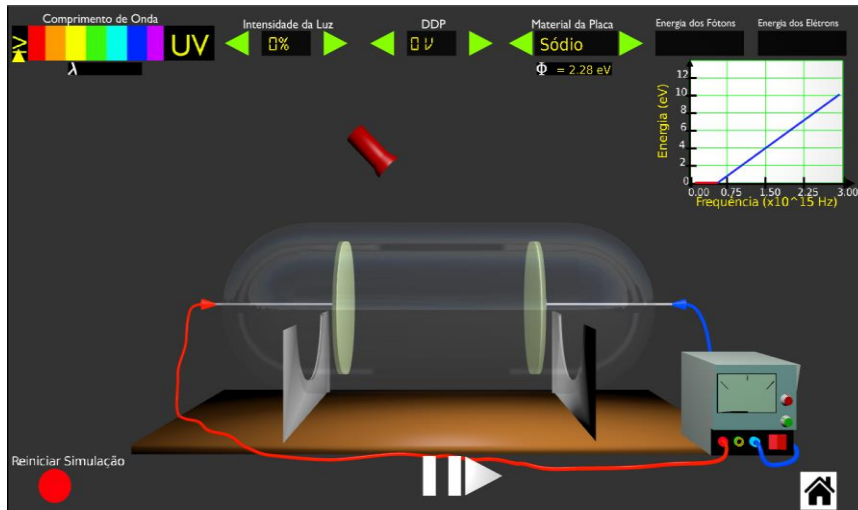


Figura 1: Janela do simulador

- Inicie a simulação com os seguintes parâmetros iniciais:
  - Intensidade da luz: 0%,
  - Comprimento de onda: 300nm
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



Figura 2: Parâmetros iniciais

- Aumente intensidade da luz em 10% e observe o ocorrido.

- 1) Ao incidir a radiação sobre a placa de sódio nas condições impostas o que pôde ser observado?

- Aumente intensidade da luz de forma gradual em até 100% e observe o ocorrido.

2) O que ocorre ao aumentarmos a intensidade da radiação sobre a placa?

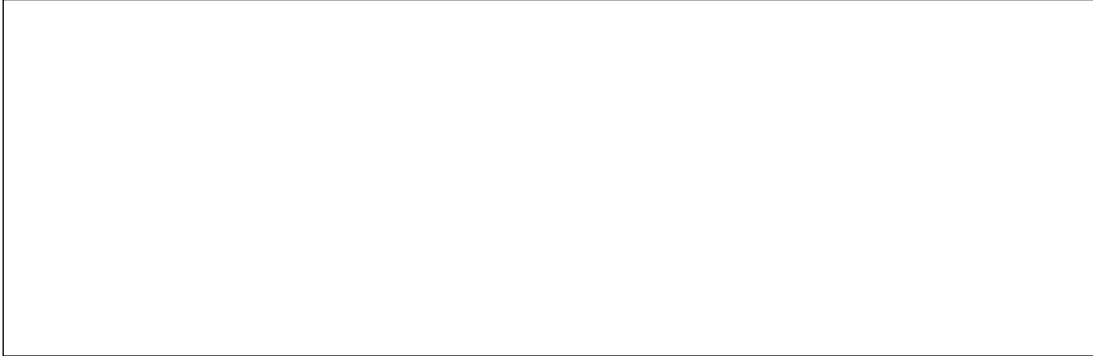
- Zere gradualmente a intensidade da radiação até 0%.
- Mude o valor do comprimento de onda de 300nm para 685nm conforme a figura.



- Aumente novamente de forma gradual o valor da intensidade da luz de 0% até 100% de maneira gradual.

3) Nessas condições houve a ejeção de elétrons do material? Qual seria sua hipótese para que não o corresse o efeito fotoelétrico?

4) Com base nas duas atividades anteriores qual dos dois comprimentos de onda selecionados apresenta valor de frequência maior? Lembre-se que a relação entre essas duas grandezas é dada por:  $c = \lambda f$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e seu valor é de aproximadamente  $3 \cdot 10^8 m/s$ .



## Atividade 02

**Objetivo:** Entender a relação entre a radiação, frequência de corte e energia cinética dos elétrons emitidos.

- Inicie a atividade lembrando brevemente o conceito de energia cinética de uma partícula.
- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho que está no canto inferior esquerdo, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



- Partindo de 685 nm (IV), diminua gradativamente o comprimento de onda até o valor de 200nm em (UV) e para cada valor selecionado anote os valores da Energia dos Fótons e Energia dos Elétrons na tabela abaixo:

Comprimento de onda	Frequência da onda em THz	Energia Fótons	Energia Elétrons
685 nm	438		
580 nm	517		
532 nm	564		
492 nm	610		
443 nm	6780		
300 nm	1000		
200 nm	1500		

1) Segundo a teoria ondulatória da luz, aumentando a intensidade da luz (e consequentemente sua energia) os elétrons ejetados deveriam ser mais velozes. O que o grupo observou aumentando a intensidade da luz na simulação?

2) Se o comprimento de onda foi diminuído o que ocorreu com a frequência?

3) Sabendo que para cada comprimento de onda dado temos um valor de energia dos fótons e que de acordo com a teoria a energia de cada fóton é dada por:  $E = hf$ . Onde  $h$  é a constante de Planck. Com posse dessas informações, encontre o valor numérico dessa constante. (Se possível utilize uma calculadora).

- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: 0 V
  - Material da placa: Sódio



- Em seguida diminua gradualmente o comprimento de onda no seletor até os elétrons serem emitidos da placa. Anote o valor deste comprimento de onda.
- Reinicie a simulação clicando no botão vermelho, em seguida defina os seguintes parâmetros:
  - Intensidade da luz: 50%
  - DDP: -2.5 V
  - Material da placa: Sódio



- Em seguida diminua o comprimento de onda no seletor até o comprimento de onda anotado anteriormente.
- 4) Por que que com o mesmo comprimento de onda não ocorreu o efeito fotoelétrico considerando a mudança do parâmetro DDP (Voltagem), como você relaciona esse fato com o que aprendeu em eletrostática?

# Sequência didática

**Disciplina:**

**Professor:**

**Data:**        \_\_/\_\_/\_\_ a \_\_/\_\_/\_\_

**Mestrando:**

**Matrícula:**

## Plano de Ensino

### 1. Identificação

Escola:

Diretora:

Disciplina: Física

Série: 3º

Turma: 3º ano

Data:

Tempo previsto: 4 aulas de 2h cada

### 2. Tema estruturador

Matéria e radiação

### 3. Conteúdos

- Factualis: Aspectos históricos sobre a natureza e comportamento da luz (onda ou partícula); o experimento de Hertz, a física no final do sec. XIX, hipótese de Max Planck sobre a quantização da energia, a interpretação de Einstein sobre o efeito fotoelétrico. Aplicações efeito fotoelétrico.
- Conceituais: Radiação de Corpo Negro, O efeito fotoelétrico, Energia de um Fóton, Função trabalho, constante de Planck, frequência de Corte.
- Procedimentais: Levantamento de hipóteses e relação entre as grandezas envolvidas (Intensidade, Comprimento de onda, frequência, material, ddp), utilização de simulação computacional para conferir essas hipóteses.
- Atitudinais: Participação nas discussões abordadas em rodas de conversas como elementos de culminância das atividades propostas.

### 4. Habilidades

- Identificar diferentes ondas e radiações, relacionando-as aos seus usos cotidianos, hospitalares ou industriais.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas Ciências, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Compreender diferenças nas relações entre intensidade de radiação, frequência e energia na visão clássica e moderna da física.

## 5. Pré-requisitos

Ondulatória  
Ondas eletromagnéticas  
Natureza ondulatória da luz  
Energia Cinética

## 6. Recursos

Quadro branco, pincel, apagador, data show, computador, software SimuPhoton, Laboratório de informática.

## 7. Atividades

### 1º momento: *Problematização inicial*

- Aplicar o questionário prévio.
- Contextualizar o problema a partir das seguintes situações em forma de vídeo:
- Ao irmos ao shopping é notável que as portas da entrada se abrem de forma automática quando nos aproximamos.



<https://www.youtube.com/watch?v=618F3NxIBJk>

- Durante o dia as luzes dos postes permanecem apagadas, durante o pôr do sol percebe-se que suas



luzes acendem automaticamente.



<https://www.youtube.com/watch?v=7glsZIPKMXU>

- Começar um diálogo a respeito das duas situações apresentadas com as seguintes questões:

### 7.1 Problemas ou questões após a problematização

- 1) Como você explicaria o funcionamento da abertura automática da porta do shopping?
- 2) Como você explicaria o fato das luzes dos postes acenderem automaticamente e ao mesmo tempo quando anoitece?
- 3) Existe alguma coisa que relacione as duas situações? Na sua opinião o que seria?
- 4) Em uma situação onde o céu fique nublado, mesmo durante o dia, você acha que as luzes do poste permaneceriam apagadas?
- 5) Na sua opinião, qualquer outro corpo, que não fosse o humano ou outro animal, também teria capacidade para abrir a porta do shopping ao se aproximar? Como você justificaria este comportamento?

- Pedir que os alunos pesquisem acerca do tema e que escrevam a respeito do tema para a próxima aula dando como sugestão referências de vídeos e leituras.

### 2º momento: *Construção do conhecimento*

- Abrir o software *SimuPhoton* e apresentar o programa.
- Com o *SimuPhoton* aberto selecionar a opção *Fundamentos Teóricos* e apresentar o contexto histórico do surgimento do efeito fotoelétrico com auxílio do software.

- Iniciar a aula de forma expositiva com os slides.

## Primeiras Observações

O efeito fotoelétrico foi observado pela primeira vez por A. E. Becquerel em 1839 e confirmado de forma despretensiosa por Heinrich Hertz em 1887, na ocasião Hertz investigava a natureza eletromagnética da luz e notou que quando a **luz ultra violeta(UV)** incidia sobre os **eletrodos metálicos** entre os quais era estabelecida uma **voltagem (ddp)** a presença da luz UV alterava seu valor. Por conta dessa observação esse fenômeno ficou conhecido como **efeito fotoelétrico**.

Em 1902, Lenard constatou que a radiação **UV** era mais significativa para observação do efeito, o que contrariava a previsão da física clássica, demonstrou que partículas eletricamente carregadas são liberadas das superfícies metálicas sempre que sobre elas incide luz, e que essas partículas eram idênticas aos elétrons que haviam sido descobertos em 1897, pelo cientista britânico Joseph John Thomson.



Figura 1: Heinrich Hertz 1857-1894

## A teoria clássica não explica

Do ponto de vista observacional, o efeito fotoelétrico se apresentava de maneira inconsistente com a física clássica pois de acordo com essa teoria esperava-se que:

- O efeito deveria ocorrer para qualquer frequência de luz (radiação).
- A energia dos elétrons arrancados deveria aumentar com a intensidade da radiação.
- Um elétron seria liberado apenas quando tivesse acumulado a energia suficiente para vencer a sua ligação no material.

A física clássica **não** era suficiente para explicar o efeito fotoelétrico

## Radiação de corpo negro e a teoria de Planck

O aspecto da radiação emitida por um corpo aquecido varia com a temperatura desse corpo. Trata-se de radiação eletromagnética emitida de acordo com a temperatura e cujo espectro pode ser determinado experimentalmente.

### O corpo Negro

Um corpo negro é um objeto hipotético que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide ou seja, nenhuma luz o atravessa e nem é refletida, um corpo com essa propriedade, em princípio, não poderia ser visto, daí o nome corpo negro. Apesar do nome, corpos negros emitem radiação, o que permite determinar sua temperatura.

Até o ano 1900 que não existia uma teoria que permitisse descrever corretamente a curva para todo o espectro de emissão de um corpo negro. A física clássica concordava para frequências baixas e desviava-se cada vez mais para frequências além do UV, esse efeito ficou marcado na história da física como “catástrofe do ultravioleta”.

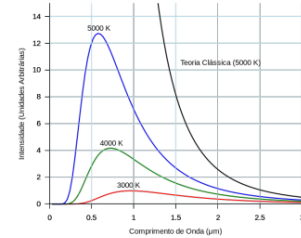


Figura 2: Curva experimental da radiação de corpo negro

## Radiação de corpo negro e a teoria de Planck

Para explicar a “catástrofe do ultravioleta” Max Planck propôs uma hipótese ousada (Nas palavras dele, feita por “puro desespero”) pois na realidade nem ele mesmo acreditava nela. Sua hipótese era de que a radiação emitida por um corpo negro não se dava de maneira **contínua**, mas sim na forma de pequenos “pacotes”, ou seja a energia se dava de forma **quantizada**, de modo que a energia de cada “pacote” seria proporcional à uma frequência da radiação, isto é:

$$E = h\nu \quad (1)$$

Onde  $\nu$  é a frequência em Hz e  $h$  é uma constante, mais tarde chamada de **Constante de Planck**, cujo valor é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \quad \text{ou} \quad h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$$

Para unidade de energia em Elétron-Volt.

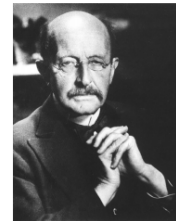


Figura 3: Max Planck 1858-1947

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

**O que é o efeito fotoelétrico?:** Consiste na emissão de partículas carregadas (geralmente elétrons) ocasionada pela absorção de radiação eletromagnética (Luz visível, raios x, ultravioleta, etc) por um determinado material. Em princípio pode ocorrer com vários materiais, mas é um efeito facilmente observável em metais.

- A máxima energia cinética dos elétrons não depende da intensidade da luz, mas sim da frequência da luz.
- Somente após uma certa frequência da luz incidente, os elétrons são ejetados pelo material da placa emissora.
- A intensidade da luz afeta a intensidade da corrente observada, isto é, o número de elétrons por segundo.
- A incidência da luz provoca uma liberação instantânea de elétrons.

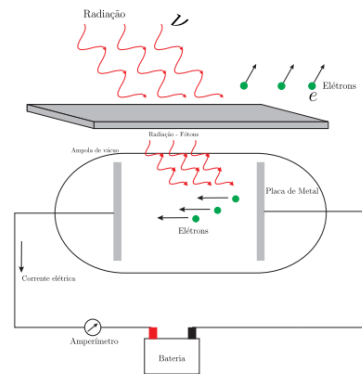


Figura 4: Efeito Fotoelétrico

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

Num trabalho publicado em 1905, intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”. Einstein propôs uma teoria do efeito fotoelétrico baseada numa extensão muito mais audaciosa das ideias de Planck sobre quantização: a de que a radiação eletromagnética de frequência  $\nu$  consiste de quanta de energia:

$$E = h\nu$$

Nas palavras de Einstein, “ A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron”. A esse quantum de luz mais tarde se denominaria como sendo fóton.

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0 \quad (2)$$

Onde  $\Phi_0$  é a chamada função trabalho e caracteriza o material.

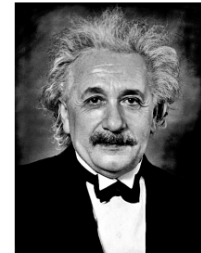


Figura 5: Albert Einstein 1879- 1955

## Einstein e a explicação do efeito fotoelétrico

O fato é que a explicação de Einstein nos concede uma outra interpretação da natureza da luz, a de que esta também apresenta uma natureza corpuscular, ou seja a luz se apresenta constituída por partículas denominadas de fótons.

A equação de Einstein para o efeito fotoelétrico mostra que somente fótons com uma frequência acima de um determinado valor conseguem arrancar elétrons do material (**frequência de corte**) que estão presos por uma energia potencial.

Essa energia potencial depende do material e é conhecida como **função trabalho** sendo denotada por  $\Phi_0$  na equação de Einstein.

Material	$\Phi_0$
Sódio	2.28 eV
Zinco	4.30 eV
Cobre	4.7 eV
Platina	6.35 eV
Cálcio	2.90 eV
Magnésio	3.68 eV

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0$$

## Equação de Einstein do efeito fotoelétrico

$$E_{cin} = h\nu - \Phi_0 \quad (3)$$

Energia dos fótons:

$$h\nu$$

Função trabalho:

$$\Phi_0$$

Energia Cinética dos elétrons arrancados:

$$E_{cin} = \frac{m_e v^2}{2}$$

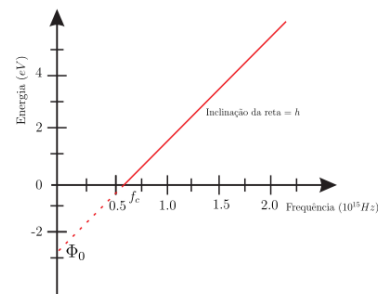


Figura 6: Função Trabalho

## Aplicações do efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico se apresenta em várias aplicações de uso cotidiano com as chamadas células fotoelétricas que transformam a energia da radiação eletromagnética (luz) em energia elétrica.

Exemplos de aplicações:

- Portas de abertura automática.
- Relés para acionamento de lâmpadas de poste em vias.
- Câmeras fotográfica.
- Controle remoto.
- Geração de energia elétrica.



- O conceito de Luz como onda e partícula.
- Corpo negro e a hipótese de Max Planck.
- Energia quantizada do fóton e a constante de Planck.
- O efeito Fotoelétrico na interpretação de Einstein.
- Função trabalho.
- Frequência de Corte.
- Apresentar o simulador no *SimuPhoton*.

- Iniciar a atividade seguindo o Roteiro

### 3º momento: *Aplicação do conhecimento*

- Aplicar o questionário da avaliação.
- Aplicar a atividade utilizando mapa conceitual como avaliação.
- Aplicar o questionário de avaliação do software e das aulas com uso de simuladores.

## 8) Avaliação

## 9) Referências

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 4;

CALÇADA, Caio Sergio; SAMPAIO, Jose Luiz. Universo da física. São Paulo: Atual, 2001 Vol 3;

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica. São Paulo: E. Blücher, 2002;

O Efeito Fotoelétrico Explicado (O Nobel de Einstein)-Canal: Ciência todo dia.

<https://www.youtube.com/watch?v=USGENeYkBd4&t=3s>

## **10) Anexo**