

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pós - Graduação em Ensino de Ciências e Matemática**

**ENSINANDO O EFEITO FOTOELÉTRICO POR MEIO DE SIMULAÇÕES  
COMPUTACIONAIS:**  
**Roteiro de aula de acordo com Teoria da Aprendizagem Significativa**

STÊNIO OCTÁVIO DE OLIVEIRA CARDOSO  
ADRIANA GOMES DICKMAN

**BELO HORIZONTE**  
**2011**

## Sumário

Apresentação .....	3
Roteiro de atividades .....	4
Etapa 1: PRÉ-TESTE .....	4
Etapa 2: ORGANIZADORES PRÉVIOS .....	6
2.1 Vídeos.....	6
2.2 Texto.....	7
Etapa 3: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ROTEIRO DE ATIVIDADES .....	12
Etapa 4: ORGANIZADOR EXPLICATIVO .....	17
Etapa 5: AVALIAÇÃO FINAL .....	17
Sugestão de metodologia para utilização do produto .....	21
Pré - teste .....	22
Organizadores Prévios .....	24
Uso de Simulação Computacional com um Roteiro de Atividades.....	25
Organizador Explicativo.....	26
Avaliação Final.....	27
Referências .....	28

## **Apresentação**

No presente trabalho, apresenta-se um produto que envolve o uso de simulações computacionais por meio de um roteiro de aula, para alunos do terceiro ano do ensino médio, visando a assimilação de conceitos de física moderna, mais especificamente, do efeito fotoelétrico com embasamento na teoria da aprendizagem significativa.

O produto educacional é constituído por questionários, vídeos, texto e o roteiro de atividades que os alunos usarão para se orientar no manuseio da simulação computacional. Busca-se com esta sequência propiciar ao aluno a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa do fenômeno proposto para estudo, tendo como base fundamental a teoria de Ausubel et al. (1980).

Ao final, apresenta-se uma sugestão de utilização do produto a partir das considerações feitas com o suporte do referencial teórico escolhido.

## Roteiro de atividades

### Etapa 1: PRÉ-TESTE

#### PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

#### Programa de Pós-Graduação: Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática

PRÉ – TESTE			
3º SÉRIE ENSINO MÉDIO	TURMA	NUMERO DO ALUNO	DATA
ALUNO			
Prof. Stênio O. O. Cardoso			

Este teste tem como objetivo principal identificar os conceitos que o aprendiz tem sobre o assunto a ser abordado, portanto, não terá nenhum valor significativo para notas ou qualquer tipo de avaliação pertinente a estrutura do Instituto Regina Pacis.

1) Uma pedra, a água, a madeira ou qualquer outro corpo chamamos de matéria. Podemos quebrar uma rocha em pedaços, e os pedaços em cascalho fino. Este ainda pode ser moído e virar areia fina, que pode ser transformada em pó. Imaginando que podemos continuar esse processo indefinidamente, escreva em sequência de tamanho, a(s) parte(s) que compõe a rocha.

---

---

---

---

2) Considere uma corda de violão ao ser tocada pelo violonista. O som que escutamos é o resultado das vibrações executadas pelas cordas do violão, assim, cada corda produz uma onda mecânica. Marque a opção que possui alguma ligação com a estrutura de uma onda.

Frequência ( )

Mar ( )

Comprimento de Onda ( )

Período ( )

Luz ( )

Velocidade ( )

Aceleração ( )

Transporte de energia ( )

Valores definidos de energia ( )

Justifique a(s) resposta(s) marcada(s).

---

---

---

---

---

---

---

3) Em um jogo de sinuca, o objetivo é colocar dentro da caçapa todas as bolas ímpares ou pares, para isso, todos os jogadores fazem uso de uma bola branca. Este jogo é praticado no Brasil e requer noções de física, mesmo que o jogador, enquanto jogue, não pense assim. A força da tacada, a massa da bola, o ângulo do tiro, todas essas variáveis influenciam em uma jogada certa. Considere uma sinuca que não ofereça atrito para as bolas, e que um jogador decida acertar a bola branca em outra que está parada, com o intuito de colocá-la na caçapa. O jogador, com certa habilidade, dá uma tacada forte, em seguida a bola branca colide com a outra em “cheio”. Depois da colisão a bola branca fica parada e a outra bola continua em um movimento idêntico ao da bola branca. Qual explicação você daria para essa situação?

---

---

---

---

---

---

---

4) A física faz parte das ciências naturais, juntamente com a química e a biologia. Nos estudos anteriores às provas destas disciplinas, qual a forma de estudo que você usa para se sair bem?

---

---

---

---

5) Suponha que você esteja fazendo uma avaliação teórica de física, sozinho(a), isto por que perdeu a última prova. Uma das questões da avaliação você nunca tinha resolvido em sala com seu professor, e você somente pode recorrer aos seus pensamentos. Marque a opção que ilustra a sua provável atitude diante da resposta a essa questão:

- a) Deixaria a questão em branco, por que, tenho dificuldade em física;
- b) Escreveria algumas frases tentando acertar no chute;
- c) Escreveria sobre o primeiro raciocínio que tive, sem pensar muito;
- d) Tentaria escrever uma resposta coerente com algum fenômeno ou situação que já vivenciei;
- e) Buscaria responder usando as questões que já estudei em sala de aula, da mesma forma que o professor passou no quadro.

Caso tenha outra atitude, escreva abaixo.

---

---

---

---

## **Etapa 2: ORGANIZADORES PRÉVIOS**

### **2.1 Vídeos**

*Links* para acessar os vídeos utilizados na estrutura do trabalho:

**Vídeo 1** – <http://www.fisica.net/videos/Cientistas/>

**Vídeo 2** – <http://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>

No vídeo 1 são citados aparelhos e tecnologias atuais que funcionam através do efeito fotoelétrico, como o sensor de presença que é instalado nas portas dos elevadores, ou dos sensores fotoelétricos instalados nos postes de luz. De acordo com a teoria de Ausubel, pressupõe-se que essas informações podem ser significativas para a assimilação dos conceitos mais específicos e menos inclusivos que ainda serão apresentados. O vídeo tem no total vinte e três minutos, falando resumidamente do ano de 1905, ano no qual Albert Einstein publicou trabalhos importantes para o avanço da ciência e da tecnologia. Esse vídeo faz parte de uma série de episódios gravados sobre o tema ciência, exibido na programação da Rede Globo de Televisão, em um quadro chamado Espaço Aberto.

Em um segundo momento, o vídeo 2, com nove minutos de duração, explica por meio de animações como ocorre o efeito fotoelétrico e o comportamento dual da luz, de forma gradual e inclusiva, partindo das discordâncias existentes no início do século XX sobre a natureza dual da luz. Esse vídeo foi encontrado em um *site* que tem como função principal a postagem livre na *internet* de vários vídeos, o [www.youtube.com.br](http://www.youtube.com.br). Os vídeos também apresentam uma visão de que a ciência é um processo de construção de conhecimento, embora esse não seja o foco do trabalho aqui proposto.

## 2.2 Texto

O texto a seguir foi retirado e adaptado da referência: SAMPAIO, J. L. CALÇADA, C. S. Física. São Paulo: Editora Atual, 2<sup>o</sup> Ed – vol. Único. Ano 2005.

### **O EFEITO FOTOELÉTRICO**

Durante alguns anos Max Planck estudou o comportamento da radiação emitida pelos corpos negros. Nas experiências, ele observava fenômenos que não eram previstos pelas leis e teorias da física conhecidas na época. No entanto, em 1905, Albert Einstein usando as ideias de Planck, chegou a uma interpretação aceitável do fenômeno. A luz teria o comportamento dual, ora ela se comportava como onda, ora como pacotes de matéria. Einstein chamou cada pacote de quantum (palavra latina cujo plural é quanta). Mais tarde, cada quantum foi chamado de fóton.

Ainda nesse trabalho de 1905, para testar a teoria quântica da radiação (luz), Einstein mostrou que ela explicava o efeito fotoelétrico, cujas características também intrigavam os físicos.

Quando ondas eletromagnéticas atingem um corpo, às vezes observa-se que elétrons são “arrancados” desse corpo. Em princípio isso pode acontecer com vários materiais, mas é um efeito mais facilmente observável em metais. **A emissão de elétrons pela absorção de radiação (Luz) por metais é chamada de efeito fotoelétrico.**

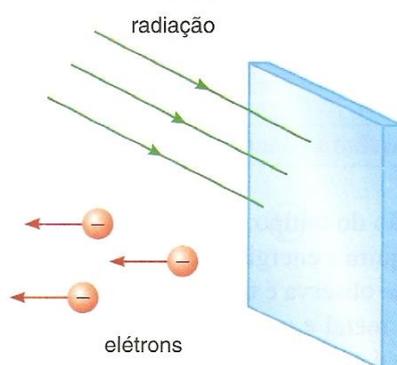


Figura 1: Emissão de elétrons pela incidência de luz.

O efeito fotoelétrico pode ser observado usando o dispositivo esquematizado na figura 2, chamado de fotocélula. Duas placas metálicas X e Y são colocadas no interior de uma ampola de vidro, no interior da qual foi feito vácuo. A radiação incide na placa Y.

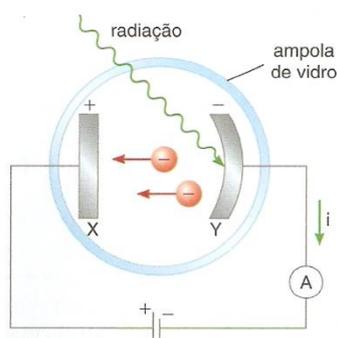


Figura 2: Fotocélula.

Se houver emissão de elétrons, estes serão atraídos pela placa positiva X, estabelecendo-se uma corrente elétrica no circuito, que poderá ser detectada por um amperímetro sensível (A). É desse modo que funcionam, por exemplo, as portas que se

abrem automaticamente quando pessoas aproximam-se delas. Quando chega-se perto da porta nosso corpo interrompe o fluxo de radiação e a corrente se anula. Quando a corrente se anula, é acionado o mecanismo que abre a porta.

À primeira vista o efeito fotoelétrico tem uma explicação simples. A onda eletromagnética transfere energia ao elétron. Uma parte dessa energia é usada para realizar o trabalho (W) de extração do elétron; o restante transforma-se em energia cinética ( $E_c$ ) do elétron. No entanto, os resultados experimentais são intrigantes do ponto de vista da física clássica.

Em primeiro lugar há a questão da frequência. De acordo com a física clássica, esse efeito não depende da frequência da onda. No entanto, a experiência mostra que, para cada metal, o efeito fotoelétrico só é observado quando a frequência é maior ou igual a um valor mínimo chamado **frequência de corte ( $f_c$ )**. Na tabela a seguir são apresentados os valores de  $f_c$  para alguns metais. No caso dos metais alcalinos (sódio e potássio) essa frequência corresponde à luz visível. No entanto, para os outros metais, o valor de  $f_c$  está na região do ultravioleta.

Em segundo lugar há a questão do tempo. De acordo com a física clássica, em geral, o tempo necessário para que um elétron adquira a energia necessária para escapar é da ordem de horas, dias ou mesmo meses. No entanto, o que se observa é que, desde que exista condição para que o efeito fotoelétrico ocorra, o tempo entre o momento em que a radiação atinge o metal e o momento em que o elétron escapa, é extremamente curto ( $3 \times 10^{-9}$  s); a emissão é praticamente imediata.

**Tabela 1**      **Frequência de corte ( $f_c$ ) para alguns metais**

Metal	$f_c$ (Hz)
sódio	$5,5 \cdot 10^{14}$
potássio	$4,22 \cdot 10^{14}$
cobre	$1,13 \cdot 10^{15}$
prata	$1,14 \cdot 10^{15}$
platina	$1,53 \cdot 10^{15}$

Tabela 1: Valores de algumas frequências de corte.

Em terceiro lugar há a questão da intensidade da radiação. Quando a frequência da luz incidente está acima da frequência de corte, o efeito sempre ocorre, mesmo que a intensidade da radiação seja muito pequena. A intensidade de luz influi no número de elétrons “arrancados”, assim, influi na intensidade da corrente (i) medida no circuito da figura 2. No entanto, a intensidade da radiação não influi na energia cinética adquirida por cada elétron.

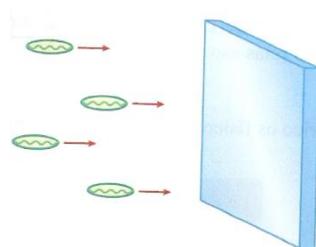


Figura 3: Fótons emitidos

A explicação dada por Einstein é que a radiação é formada por quanta (fótons) (figura 3). Cada elétron absorve apenas um fóton. Se a energia desse fóton for menor do que a necessária para extrair o elétron, este não será emitido, por mais tempo que a radiação fique incidindo sobre o corpo.

Sendo  $E$  a energia do fóton,  $E_c$  a energia cinética adquirida pelo elétron e  $W$  o trabalho realizado para “arrancar” o elétron, tem-se:

$$E = E_c + W \quad [I]$$

A energia do fóton é dada por  $E = hf$ , onde  $h$  é a constante de Planck e vale  $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  e  $f$  é a frequência (Hz) da luz. No efeito fotoelétrico a velocidade adquirida pelo elétron é muito menor do que a da luz; assim, a energia cinética pode ser calculada pela fórmula clássica:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Portanto, a equação [I] fica:

$$hf = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

O trabalho realizado para “arrancar” o elétron vai depender da profundidade do elétron. Os que estão mais próximos da superfície são mais fáceis de “arrancar” do que os que estão mais profundos. Quanto maior o trabalho necessário para “arrancar” o elétron, menor será sua energia cinética. O trabalho mínimo necessário para “arrancar” um elétron é chamado de função trabalho e será representado por  $W_0$ . Neste caso, a energia cinética adquire seu valor máximo ( $E_{c\text{máx}}$ ):

$$hf = E_{c\text{máx}} + W_0 \quad \text{[II]}$$

Se a frequência for a de corte, tem-se energia cinética nula, e da equação [II] obtém-se:

$$hf_c = W_0 \quad \text{[III]}$$

Da equação [II], obtém-se:

$$E_{c\text{máx}} = hf - W_0 \quad \text{[IV]}$$

Portanto, se for feito um gráfico da energia cinética em função da frequência, deve-se obter uma semirreta de coeficiente angular  $h$ , como mostra o gráfico da figura 4, onde tem-se os dados para o césio e o sódio. Como  $h$  é uma constante universal, de valor  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{J.s}$ , para todos os metais, as semirretas devem ter a mesma inclinação (elas são paralelas).

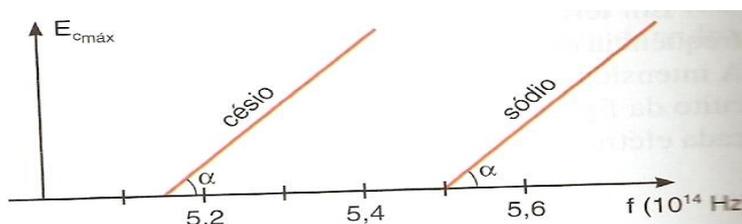


Figura 4: Gráfico da energia cinética máxima em função da frequência para o césio e o sódio.

No estudo do efeito fotoelétrico os físicos usam frequentemente a unidade de energia elétron-volt:  $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{J}$ , que corresponde à energia necessária para um elétron atravessar uma diferença de potencial igual a 1V.

### Etapa 3: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E ROTEIRO DE ATIVIDADES

Link para acessar a simulação computacional do efeito fotoelétrico:

<http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>, acessado em 01-11- 2010.

As figuras 5 e 6 ilustram duas situações da simulação computacional utilizada como ferramenta deste trabalho. Na primeira ilustração uma luz de comprimento de onda igual a 350 nm é irradiada sobre uma placa de sódio, e de acordo com o fenômeno em questão, elétrons são ejetados deste metal. Na segunda ilustração, de forma idealizada, a luz aparece em forma de pacotes de energia, o fóton, transferindo essa energia para um elétron que irá se desprender do metal irradiado.

Nas ilustrações a montagem consiste de um circuito elétrico acoplado a tubo de vácuo contendo as placas de metal. A luz proveniente de uma fonte, representada por uma lanterna, incide sobre o material. O esquema permite que o usuário veja e manipule a intensidade e o comprimento de onda da luz emitida. O espectro eletromagnético mostrado junto ao cursor de ajuste do comprimento de onda contextualiza o significado desta grandeza. No circuito é possível ver a intensidade da corrente elétrica gerada, bem como manipular o valor da diferença de potencial entre as placas. No quadro ao lado, há a possibilidade de traçar gráficos entre as variáveis que descrevem o fenômeno.

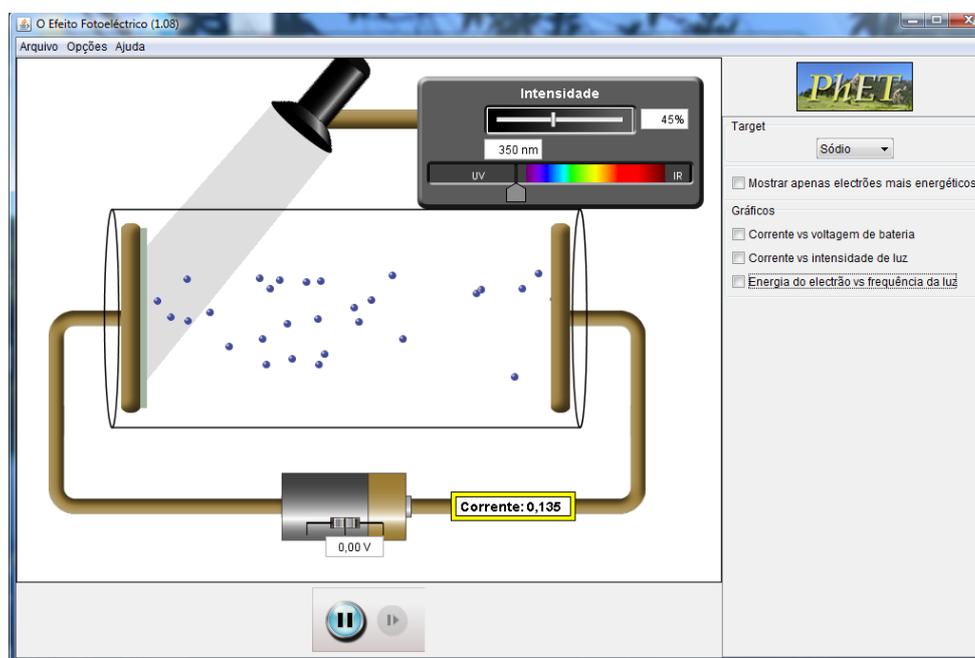


Figura 5: Ilustração da luz irradiada sobre a placa de metal e os elétrons sendo ejetados na simulação computacional do efeito fotoelétrico.

Fonte: <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>

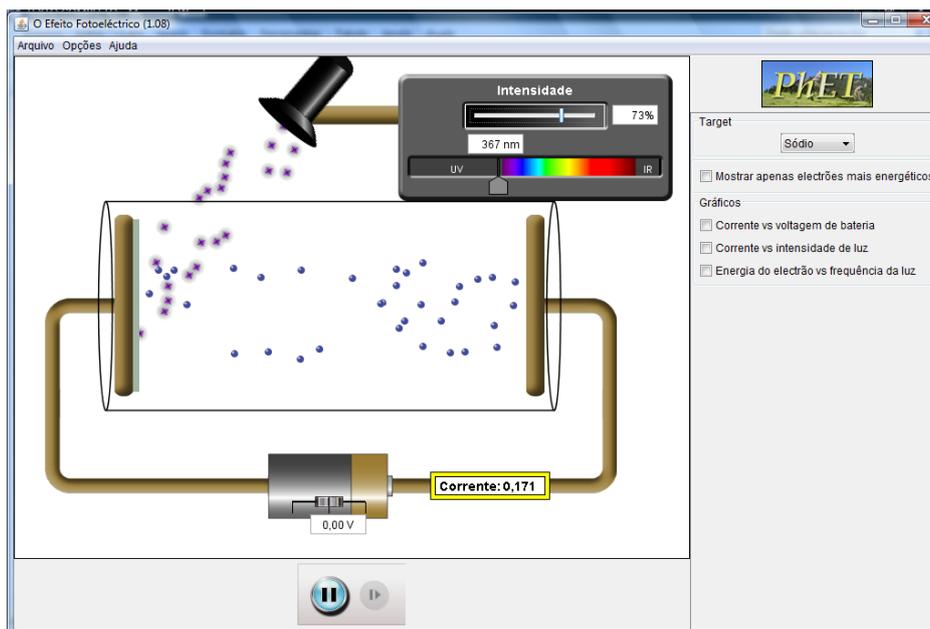


Figura 6: Ilustração dos fótons atingindo a placa de metal na simulação computacional do efeito fotoelétrico.

Fonte: <http://www.ensinolivre.pt/?q=node/184>

## ROTEIRO DE ATIVIDADES

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC  
 Programa de Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática  
 Área de Concentração: Física

ROTEIRO DE ATIVIDADES			
3º SÉRIE ENSINO MÉDIO	TURMA	NUMERO DO ALUNO	DATA
ALUNO			
Prof. Stênio O. O. Cardoso			

Este roteiro tem o objetivo de orientá-lo no desenvolvimento das atividades sobre o efeito fotoelétrico. Nesta atividade será usada uma simulação computacional para relacionar as propriedades do fenômeno em questão. Portanto, procure seguir as atividades da maneira como elas são apresentadas e em caso de dúvida em como executá-la, busque ajuda com o professor.

## INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO

1. Você deverá abrir a simulação no local indicado pelo professor;
2. Devemos agora conhecer as variáveis que a simulação nos oferece;
  - a. Identifique na simulação como alterar a intensidade da luz;
  - b. Encontre no simulador onde podemos alterar o comprimento de onda;
  - c. Identifique na simulação o amperímetro, onde está escrito “corrente: 0,000”;
  - d. Encontre a pilha e a maneira de alterar sua tensão;
  - e. Do lado direito da simulação, podemos mudar a placa de metal que está dentro da ampola de vidro, as opções são: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio.
  - f. As outras opções iremos usar mais adiante.

## ATIVIDADES

Nº 1)

- ✓ Encontre a opção de alterar a intensidade de luz. Qual o valor que está marcando inicialmente? Altere o valor da intensidade da luz para 50% e observe o que ocorre.
- ✓ Sem alterar os valores, escreva qual é o valor do comprimento de onda inicial e qual corrente está marcando no amperímetro.
- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 100% e verifique o valor da corrente mostrada pelo amperímetro. Escreva qual diferença você notou comparando o resultado da corrente com o valor encontrado no item anterior.
- ✓ Quando aumentamos a intensidade da luz aumentamos também a corrente do sistema, podemos concluir que a quantidade de elétrons ejetados foi maior, menor, ou igual?

Nº 2)

- ✓ Procure na barra superior “opções” e escolha a opção “mostrar fótons” (fótons). Observe o que irá mudar na simulação.

- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 50% e depois para 100%. O que você pôde notar sobre o número de fótons que são emitidos pela fonte de luz. Este aumentou, diminuiu ou permaneceu igual?
- ✓ Quando alteramos a intensidade da luz, a quantidade de energia de cada fóton aumenta, diminui ou permanece igual?
- ✓ Quando aumentamos a intensidade de luz estamos aumentando, diminuindo ou nada acontece com o número de fótons emitidos?

Nº 3)

- ✓ Einstein determinou que a energia  $E$  de cada fóton é igual a constante de Planck  $h$  multiplicada pela frequência  $f$  da luz. Logo,  $E = h \cdot f$ . E nos estudos dos fenômenos ondulatórios, podemos verificar que a velocidade de propagação  $v$  de uma onda é igual ao comprimento de onda  $\lambda$  multiplicado pela frequência  $f$ . Logo,  $v = \lambda \cdot f$ . Com base nestas duas informações, como podemos relacionar a energia de cada fóton emitido pela luz com o comprimento de onda da luz?
- ✓ A energia de cada fóton será diretamente ou inversamente proporcional a frequência de cada fóton?
- ✓ A energia do fóton será diretamente proporcional ou inversamente proporcional ao comprimento de onda  $\lambda$  ?

Nº 4)

- ✓ Encontre a opção para alterar o comprimento de onda da luz. Com a intensidade de luz a 50% e o comprimento de onda a 400nm observe como os elétrons são ejetados da placa de sódio.
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 200nm. O que você notou de diferente na simulação?
- ✓ Quando você diminuiu o valor do comprimento de onda a energia de cada fóton aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração? E a energia cinética do elétron, aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração?
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 550nm. O que acontece com os elétrons arrancados da placa de sódio? Quando aumentamos o valor do comprimento de onda da luz, a energia dos fótons aumenta, diminui ou não se altera?

- ✓ Procure na barra superior “opções” e escolha a opção “mostrar fótons” (fótons). Os fótons continuam sendo emitidos pela fonte de luz, então, porque eles não conseguem “arrancar” elétrons da placa de metal?

Nº 5)

- ✓ Altere o valor da intensidade de luz para 50% e o valor do comprimento de onda para 400nm.
- ✓ Altere o valor do comprimento de onda para 150nm e observe o movimento dos elétrons “arrancados” da placa de sódio.
- ✓ Altere o material da placa, de sódio para platina. Observe o movimento dos elétrons “arrancados”. Para os mesmos valores de intensidade de luz e comprimento de onda, a energia cinética dos elétrons “arrancados” do sódio e da platina é diferente ou permanece igual?
- ✓ Qual dos dois materiais tem maior facilidade de ejetar elétrons quando são irradiados por uma luz com as características escolhidas acima?
- ✓ Parte da energia do fóton é consumida em forma de trabalho ( $W$ ) para ejetar o elétron da superfície do metal, a outra parte da energia é transformada em qual tipo de energia?
- ✓ Para obtermos a energia total do fóton tem-se que considerar quais transformações de energia? Escreva a equação que relaciona a quantidade total da energia do fóton, sendo  $E$  a energia do fóton,  $E_c$  a energia cinética do elétron ejetado e  $W$  o trabalho necessário para ejetar o elétron.

Nº 6)

- ✓ Altere o metal para sódio, a intensidade de luz para 50% e o comprimento de onda para 400nm.
- ✓ Altere o valor da voltagem da pilha para 1,00V e observe os elétrons ejetados.
- ✓ Nas placas de sódio apareceram os sinais de + e -, indicando que as placas estão carregadas positiva e negativamente.
- ✓ A energia cinética dos elétrons aumentou, diminuiu ou não sofreu alteração? Em caso de qualquer alteração, como você pode explicá-la?

## Etapa 4: ORGANIZADOR EXPLICATIVO

Link para acessar o organizador explicativo ou mapa conceitual:

<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/20EfeitoFotoeletrico/Site/Animacao.htm>, acessado em 01-11-2010.



Figura 7: Mapa conceitual sobre o efeito fotoelétrico. Fonte: <http://www.fisica.ufpb.br>.

## Etapa 5: AVALIAÇÃO FINAL

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS**

**Programa de Pós-Graduação: Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática**

TESTE FINAL			
<b>3º SÉRIE ENSINO MÉDIO</b>	TURMA	NUMERO DO ALUNO	DATA
ALUNO			
Prof. Stênio O. O. Cardoso			

1) A radiação da luz não é emitida continuamente, mas de uma maneira quantizada, de acordo com o modelo corpuscular. Explique essa afirmação.

---

---

---

---

2) O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons da superfície dos metais quando irradiados por luz em determinada frequência. Quando aumentamos a intensidade da luz que irradia o metal, mantendo a mesma frequência, o número de elétrons ejetados irá aumentar ou diminuir? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

3) A energia de um fóton é dada por  $E = h \cdot f$ , onde  $h$  é uma constante. Em uma situação na qual a frequência da luz seja muito grande, o número de elétrons ejetados da superfície do metal irá aumentar ou diminuir? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

---

4) Podemos relacionar a energia do fóton com o comprimento de onda da luz incidente no material. Com a intenção de aumentar a energia do fóton, devemos aumentar ou diminuir a frequência da luz incidente? E o comprimento de onda? Dados:  $E = h \cdot f$  ;  
 $v = \lambda \cdot f$

---

---

---

---

5) No efeito fotoelétrico, parte da energia de um fóton é utilizada para “arrancar” o elétron do metal, outra parte desta energia é transformada em qual tipo de energia?

---

---

---

---

6) Para conseguirmos obter a quantidade de energia total de um fóton, que foi absorvido por um elétron, teremos que adicionar a quantidade de energia gasta para ejetar o elétron do metal e qual outra forma de energia?

---

---

---

---

7) Muitos alunos ao estudarem o efeito fotoelétrico costumam confundir intensidade da luz com a energia de cada fóton e a quantidade de fótons. Explique com suas palavras o que acontece com a energia de cada fóton e com a quantidade de fótons quando alteramos o valor da intensidade de luz.

---

---

---

---

---

---

8) Uma das utilidades do efeito fotoelétrico é a sua utilização no controle de portas automáticas, que se abrem quando chegamos perto e se fecham quando não há ninguém perto da porta. O mesmo fenômeno também acontece no funcionamento das portas dos elevadores. Nestes casos, um feixe de luz incide sobre uma superfície fotossensível causando a ejeção de elétrons e formando uma corrente no circuito. Quando a luz deixa de incidir sobre a célula fotossensível, a corrente passa a não existir e outro sistema é acionado para abrir a porta. Assim, esse fenômeno só acontece porque conhecemos a

frequência de corte do material utilizado nas fotocélulas. Considerando o fenômeno estudado, diferencie frequência e frequência de corte.

---

---

---

---

---

9) Os postes de iluminação contem lâmpadas ligadas a um circuito que possui uma célula fotossensível. Quando a luz do dia acaba, a corrente gerada pelo efeito fotoelétrico é encerrada, acionando outro circuito para acender a luz que iluminará a rua. Considerando que a luz ultravioleta provoque na célula fotossensível o efeito fotoelétrico e que tenha a frequência  $f = 8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ , responda:

- a) Encontre o valor da energia (joule)  $E$  de cada fóton;
- b) Se o trabalho ( $W$ ) necessário para arrancar o elétron da célula fotossensível é  $2,3 \times 10^{-19} \text{ J}$ , encontre o valor da energia cinética com que o elétron foi ejetado.

Dados:  $E = h \cdot f$  ;  $E = E_c + W$  ;

$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

## **Sugestão de metodologia para utilização do produto**

TAVARES (2008), de acordo com teoria da aprendizagem significativa, menciona três condições necessárias para que ocorra a efetiva aprendizagem:

Para que aconteça aprendizagem significativa em relação a um determinado assunto são necessárias três condições: o material instrucional com conteúdo estruturado de maneira lógica; a existência na estrutura cognitiva do aprendiz de conhecimento organizado e relacionável com o novo conteúdo; e a vontade e disposição do aprendiz de relacionar o novo conhecimento com aquele já existente (TAVARES, 2008 – p. 101).

Para este trabalho, escolheu-se o material instrucional na forma de textos e/ou vídeos, com a função de promover ou realçar subsunçores existentes na estrutura cognitiva dos aprendizes.

As outras duas condições já pressupõem que se saiba qual o grau de instrução ou se conheça os conceitos prévios presentes na estrutura cognitiva dos alunos, ou seja, deve-se garantir a existência de subsunçores, ou conceitos que irão se relacionar com os novos conceitos, além da pré-disposição do aluno para aprender o novo conteúdo.

Para a utilização de simulações computacionais no ensino de física do ensino médio, pressupõe-se o desenvolvimento de uma metodologia apoiada na Teoria de Ausubel. Acredita-se que desse modo o aluno poderá agir de forma ativa, abrindo espaço para a aprendizagem significativa, adquirindo novos conceitos, assimilando-os em sua estrutura cognitiva de forma clara e substancial.

Na figura 8 é apresentado um esquema da ordem de estruturação pressuposta neste trabalho, considerando todas as etapas descritas por Ausubel para facilitar a aprendizagem significativa. O esquema é um resumo das etapas estruturadas do plano de aula a ser seguido, representadas pelos quadros azuis. Os quadros verdes representam os pressupostos, os objetivos e os materiais usados nas etapas.

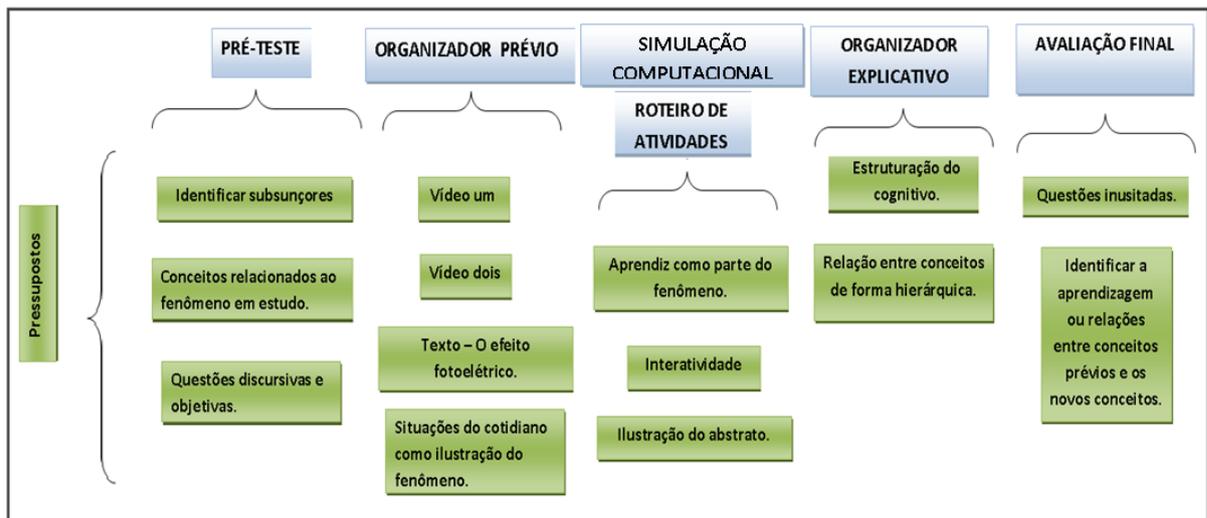


Figura 8: Quadro explicativo da estrutura de pesquisa.

Fonte: Arquivo pessoal

## Pré - teste

Na tentativa de atender a essência da teoria de Ausubel, ou seja, conhecer a estrutura cognitiva e conceitos prévios dos alunos, foi elaborado um pré-teste que foi aplicado antes de o aluno ter qualquer contato com o novo material sobre os conceitos circundantes ao efeito fotoelétrico. Além do objetivo de identificar partes da estrutura cognitiva do aprendiz participante da pesquisa, também se tem a intenção de identificar a disposição deste para relacionar o novo material, de maneira substantiva e não – arbitrária, à sua estrutura cognitiva.

O pré-teste tem fundamento na teoria de Ausubel ao afirmar-se que os novos conceitos devem se relacionar com os prévios. Assim para facilitar o processo de aquisição de conhecimento, é necessário conhecer a estrutura cognitiva do aluno sobre o tema a ser abordado.

O pré-teste consiste de cinco questões, sendo quatro discursivas e uma objetiva, cuja intenção é identificar os conceitos necessários e a pré-disposição para que os aprendizes compreendam o fenômeno que será estudado.

As três primeiras questões abordam tópicos importantes para a compreensão do efeito fotoelétrico: estrutura do modelo atômico; propriedades dos fenômenos ondulatórios; e transferência de energia em colisões.

A primeira questão do pré-teste tem o objetivo de verificar se o aluno possui conceitos relacionados à estrutura da matéria. Busca-se subsunçores sobre a composição

da matéria, o modelo de um átomo, e principalmente a consciência da existência de partículas subatômicas, como os elétrons.

A segunda questão busca identificar no aluno conceitos relacionados aos fenômenos ondulatórios, como velocidade, frequência, comprimento de onda e transporte de energia. A necessidade destes conceitos será fundamental para o aluno entender conceitos novos, por exemplo, como a energia de um fóton depende da frequência da radiação. Nesta pergunta, parte-se do pressuposto de que o aluno ainda não tenha conhecimento formado sobre a natureza dual da luz. Assim, para que seja possível introduzir os conceitos de luz de forma quantizada, primeiro o aluno tem que conhecer a luz como onda e seus conceitos mais específicos.

A terceira questão do pré-teste busca encontrar no aluno conceitos estruturados sobre conservação e transferência de energia. Pressupõe-se que o aluno tenha passado pela parte que estuda a dinâmica do movimento em física, na qual os temas: trabalho realizado por uma força, energia mecânica, energia cinética, energia potencial e princípio de conservação de energia, tenham sido trabalhados com os aprendizes. Entende-se que esses conceitos e princípios serão necessários para a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico quando for discutida, através do roteiro de atividades, a equação do efeito fotoelétrico, proposta por Einstein em 1905, que relaciona a energia cinética do elétron com a energia do fóton e a função trabalho do material.

Caso o aluno tenha esses conceitos formados em sua estrutura cognitiva, pode-se chamá-los de subsunçores, pois, são conceitos prévios necessários para o entendimento do efeito fotoelétrico. Esses conceitos serão relacionados a outros novos conceitos quando o aprendiz fizer uso das simulações computacionais através do roteiro de aula. Caso o aprendiz não tenha os subsunçores necessários para inserção do fenômeno em questão, o material instrucional deverá se encarregar de fornecer a fundamentação teórica dos conceitos necessários.

Na quarta e na quinta questão, busca-se identificar nos alunos a intenção de aprender. A quarta pergunta basicamente quer conhecer a forma de estudo adotada pelo aluno em disciplinas como física e química, que facilmente podem ser interpretadas como sequências de cálculos matemáticos. Infelizmente, com base em nossa experiência docente, pressupõe-se que a maioria dos alunos estude mecanicamente, decorando conteúdo e exemplos trabalhados dentro de sala de aula. Nesta situação, de acordo com Ausubel, entende-se que a aprendizagem mecânica pode se tornar significativa, quando o novo material torna-se substancial e significativo para o aluno, passando a fazer parte

da sua estrutura cognitiva modificando os subsunçores. Em contrapartida, entende-se que o aprendiz que tem o hábito de explorar as relações entre o novo conceito e seus conhecimentos prévios, tentando relacionar o novo material a fatos ocorridos e presenciados por ele, representa um adepto da aprendizagem significativa.

A quinta questão tenta identificar no aprendiz um raciocínio frente a situações inusitadas, observando se o aluno possui uma postura de tentar relacionar seus conhecimentos com a nova situação, mostrando a intenção de aprender significativamente o novo conceito ou encontrar a resposta a uma nova situação.

### **Organizadores Prévios**

Após a aplicação do pré-teste, em uma segunda etapa, sugere-se a apresentação dos organizadores prévios. Esses organizadores têm a principal função de realçar os subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, também de fazê-lo lembrar de fatos presentes no cotidiano que justifique aprender o assunto a ser estudado. A parte que cabe ao organizador prévio, de acordo com Ausubel, deve ter conceitos amplos e inclusivos para atender a variedade de estruturas cognitivas identificadas no pré-teste. É nessa etapa do trabalho que se insere de forma gradual conceitos sobre o efeito fotoelétrico.

Com esse pensamento, sugere-se a apresentação, em um primeiro momento, de dois pequenos vídeos que mostram a parte histórica do fenômeno do efeito fotoelétrico, em que Albert Einstein e Max Planck são os principais cientistas responsáveis pela teoria e fundamentação da natureza dual da luz e como ocorre o efeito fotoelétrico. Os vídeos tratam também, das dificuldades que os cientistas encontraram para explicar o fenômeno, observado em experiências feitas com luz incidente em materiais metálicos, a partir da física clássica.

Obedecendo a ordem de inclusividade de conceitos, após a exibição dos vídeos comentados, o aprendiz receberá um texto adaptado do livro de física de Sampaio e Calçada (2005). Este livro foi aprovado e distribuído nas escolas estaduais pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) em 2006 e contém uma explicação razoável sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico, abordando pontos e variáveis essenciais à discussão estabelecida. O texto em questão trata o efeito fotoelétrico de forma conceitual e contextualizada consistente com os vídeos exibidos. Diante deste

texto, discute-se em todos os aspectos possíveis, considerando o grau de conhecimento dos alunos, as especificidades do fenômeno do efeito fotoelétrico.

Pressupõe-se que a exibição dos vídeos, leitura do texto e discussão do fenômeno com os aprendizes, proporcionarão aos alunos subsunçores importantes para entender e utilizar a simulação computacional a ser apresentada, juntamente com o roteiro de atividades.

### **Uso de Simulação Computacional com um Roteiro de Atividades**

O próximo passo é a utilização da simulação computacional, encontrada na *internet* em *site* de livre acesso. O objetivo do uso das simulações é tornar o aprendiz parte do experimento e do fenômeno do efeito fotoelétrico, através da interatividade com as variáveis que permeiam o fenômeno em estudo. A interatividade permite ao estudante testar hipóteses criadas por ele mesmo, participar de forma ativa na simulação de um fenômeno que envolve elementos abstratos, como átomo, fótons e ondas eletromagnéticas.

#### **Uso do Roteiro de Atividades**

Juntamente com a simulação, o aluno recebe um roteiro de atividades, cuja função é orientar os comandos dos aprendizes, levando-os a interpretação e estruturação do fenômeno. O roteiro de atividades foi elaborado para auxiliar o aluno a perceber gradualmente a importância e o funcionamento da simulação, a influência que cada variável tem no fenômeno e quais são as restrições deste fenômeno, sempre obedecendo a ordem de inclusividade, partindo de conceitos mais gerais para os mais específicos.

Pressupõe-se que a reprodução do fenômeno pela simulação, após as mudanças de variáveis exploradas pelo estudante, o levarão a relacionar o novo material aos subsunçores já estabelecidos. Por exemplo, quando o aluno alterar o comprimento de onda da luz incidente na chapa de metal, perceberá que para determinados valores deste comprimento de onda, nenhum elétron será retirado da chapa de metal. Com essa possibilidade, pressupõe-se que o aprendiz consiga estabelecer a relação de que o fenômeno ocorrerá apenas em determinadas situações e que o comprimento de onda da luz incidente é uma variável a ser considerada para a ocorrência de tal fenômeno. Em

outras situações os alunos poderão alterar o tipo de metal ou a intensidade da luz incidente e investigar a influência destes parâmetros no fenômeno.

Pressupõe-se que alunos do terceiro ano de ensino médio estejam na fase de abstração operacional-concreta, e assim consigam distinguir a simulação como uma ferramenta que possibilita ilustrar, de acordo com as leis físicas, um fenômeno que necessita de um aparato experimental sofisticado para ser reproduzido em um laboratório didático.

A primeira parte do roteiro de atividades consiste na localização de variáveis e como alterá-las, como por exemplo, localizar onde se pode alterar a intensidade ou o valor do comprimento de onda da radiação emitida pela fonte de luz. Em seguida, o aluno deverá usar o roteiro em sua sequência, trabalhando as atividades que o levarão à interpretação do fenômeno através da simulação computacional.

O roteiro de estudos foi elaborado com uma sequência de atividades que seja semelhante à sequência de conceitos existentes no fenômeno, possibilitando o envolvimento com o novo material e obedecendo a hierarquia de inclusividade de conceitos para o estudante. Quanto à idiosincrasia da estrutura cognitiva dos alunos, busca-se elaborar um roteiro de atividade que tenha um grau de inclusividade alto, que tente relacionar os conceitos mais gerais e substanciais com objetivo de atender a todos os aprendizes.

### **Organizador Explicativo**

Em outro momento é apresentado ao aprendiz o organizador explicativo, ou mapa conceitual. O objetivo do mapa conceitual é enfatizar as relações hierárquicas entre os conceitos que estão sendo ensinados em uma aula ou em um fenômeno (MOREIRA; MASINI, 2001).

De acordo com Ausubel, a construção e estruturação de conceitos existentes no mapa conceitual devem ter como parte inicial os conceitos mais inclusivos e gerais, e através da diferenciação progressiva, gradualmente diminuir o grau de inclusividade, tornando-os menos inclusivos e mais específicos.

O organizador explicativo deve ser discutido com os aprendizes, sendo a necessidade da explicação do assunto comentada por Ausubel et al. (1980), pois, para ele cada indivíduo possui uma estrutura cognitiva diferente, levando à construção de

relações entre conceitos novos e prévios de forma diferente, tornando necessária a explicação de quais relações foram ilustradas.

### **Avaliação Final**

O final das atividades ocorre com a aplicação de um teste de avaliação da assimilação do conteúdo, que consta de atividades diferenciadas, explorando as relações entre as variáveis diferentemente da forma em que elas foram apresentadas, evitando-se cópias de exercícios de vestibular ou de livros. Essas questões são elaboradas levando-se em consideração as tecnologias que fazem uso do efeito fotoelétrico, do material que foi apresentado na sequência de atividades, e principalmente de questões inusitadas, forma na qual Moreira e Masini (2001) indicam como a maneira correta de identificar a aprendizagem de forma significativa.

As questões propostas no teste final tem o objetivo de identificar se o aprendiz consegue estabelecer relações entre os conceitos prévios e os novos conceitos apresentados, se algum subsunçor foi modificado, alterando sua estrutura cognitiva. Para este trabalho, opta-se por aplicar questões contextualizadas e não visualizadas pelos alunos, bem como, questões de forma sequenciada, de maneira que uma não possa ser respondida sem o entendimento da anterior.

## Referências

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Tradução Eva Nick, Heliana de Barros Conde Rodrigues, Luciana Peotta, Maria Ângela Fontes e Maria da Glória Rocha Maron. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980. 625p.

GLOBO NEWS. Rede Globo de Televisão, Espaço Aberto. Disponível em: <<http://www.fisica.net/videos/cientistas/>>. Acessado em: 09/07/2010.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2º Ed. – 2001.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Física**. São Paulo: Atual, 2º Ed – vol. Único. Ano 2005.

TAVARES, R. **Animações interativas e mapas conceituais: uma proposta para facilitar a aprendizagem significativa em ciências**. *RevistaonlineCiência & Cognição*, v.13, n.2, p.99-108, 2008.

YOUTUBE. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=CEuMmMxD-vI>>. Acessado em: 09/07/2010.