

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FÍSICA DO
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ANDERSON DA SILVA CUNHA

**FÍSICA MODERNA NO ENSINO
MÉDIO: UMA ATIVIDADE
INVESTIGATIVA QUE ABORDA O
EFEITO FOTOELÉTRICO**

RIO DE JANEIRO

2013



ANDERSON DA SILVA CUNHA

FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA
QUE ABORDA O EFEITO FOTOELÉTRICO

Trabalho apresentado à banca
examinadora como pré-requisito para
aprovação da disciplina de Trabalho de
Instrumentação.

Orientador: Antônio Carlos Fontes dos
Santos e Lígia de Farias de Moreira

RIO DE JANEIRO

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FÍSICA DO
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

Anderson da Silva Cunha

Física moderna no ensino médio: uma atividade investigativa que aborda o
efeito fotoelétrico

Monografia aprovada em ____/____/____ para obtenção do título de
Licenciatura Plena em Física.

Banca Examinadora:

Nome do Professor(a) Orientador(a)

Nome do Professor(a) Orientador(a)

Nome do Professor(a) de Monografia

Nome do Professor(a) Convidado

Agradecimentos

Primeiramente aos professores do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro que, de diversas maneiras, estiveram presentes nos momentos de dúvidas e de complicações durante os meus nove períodos no instituto. Dentre os mesmo, em especial, aos professores do PIBID: Professora Ligia Farias de Moreira, Professora Deise Miranda Vianna e ao Professor João José Fernandes de Souza.

Ao Professor Antônio Carlos Fontes dos Santos e a Professora Ligia Farias de Moreira, que aceitou me ajudar no meu trabalho de conclusão de curso, dando-me ótimas orientações para que o mesmo ocorresse.

Ao CIEP Brizolão 389 Haroldo Barbosa que permitiu a execução da atividade no seu ambiente. Em especial, agradeço a Professora Saionara por permitir e por ajuda na execução da atividade em sua turma.

Aos meus grandes amigos que obtive no meu período de faculdade, em especial: Marcio (Braço), Jean Coelho, Lucas Campos, Daivdson (Pato), Filipe (Gira), Samuel, Bruno Morgado, Bruno Ximenes.

Aos funcionários do Instituto de física da Universidade Federal do Rio de Janeiro que sempre me ajudaram quando eu precisava de auxílio.

Dedicatória

Este trabalho é dedicado,

Primeiramente ao Nosso Senhor Jesus Cristo, que esteve ao meu lado em todos os momentos de minha vida realizando milagres e transformando-a. Sei que continuará exercendo seu milagre onde eu estiver, pois sem ele, não conseguirei chegar a lugar algum;

A minha família, que sempre me deu apoio e incentivo para lutar pelos meus sonhos. Esteve ao meu lado, tanto nas dificuldades emocionais, como nas dificuldades financeiras. Sempre amarei vocês;

A minha Linda Princesa Júlia, que nunca deixou de acreditar em mim nos momentos de provação e com quem um dia chamarei de Rainha da minha vida, pois sei que será a minha futura esposa;

Aos meus companheiros de faculdade, que faziam lembrar-me que sou capaz de vencer qualquer barreira que vier pela frente. Sempre lembrarei todos.

*"A mente que se abre a uma
nova idéia jamais voltará ao
seu tamanho original."
Albert Einstein*

RESUMO

Um dos grandes desafios do ensino de física atualmente é a inserção da Física Contemporânea no ensino médio. Mesmo diante de diversas aplicações em nosso cotidiano, existe uma espécie de *'barreira'* que impede que a mesma seja lecionada para os estudantes. Neste trabalho, utilizaremos de um experimento (confeccionado com materiais de baixo custo e de fácil acesso) como facilitador de aprendizagem que visa explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico e contextualizá-lo com as aplicações tecnológicas vivenciadas pelos alunos nas suas atividades cotidianas. O experimento é apresentado como uma atividade de investigação, no qual, os alunos devem ser incentivados a expressar suas idéias por meio de perguntas que o professor deve fazer durante a execução da atividade com o intuito de despertar a curiosidade dos mesmos sobre o que está sendo apresentado. O experimento seguirá as seguintes etapas: **Revisão e Motivação; Proposta do problema; Realização dos experimentos e conclusão do efeito fotoelétrico** e, por fim, **Questionário**.

SUMÁRIO

Introdução

1. Metodologia e materiais

1.1. Estratégia de Ensino

1.2. Metodologia aplicada no dia da atividade

1.3. Material utilizado

2. Efeito Fotoelétrico: De Hertz, passando por Lenard a Einstein

2.1. Heinrich Rudolf Hertz

2.2. Philipp Eduard Anton Von Lenard

2.3. Albert Einstein

3. Dispositivos eletrônicos

3.1. LDR (Light Dependent Resistor)

3.2. Algumas características dos transistores bipolares

4. Os experimentos e a análise dos resultados da atividade

4.1. O experimento do efeito fotoelétrico e do poste de luz

4.2. Os relatos da atividade

5. Conclusão

Referências

Anexo 1

Anexo 2

INTRODUÇÃO

Hoje nos deparamos com um grande desafio: inserir a física moderna no ensino médio. Contudo, essa questão pode parecer estranha no mundo em que, praticamente, quase toda tecnologia é movida a microchips, que são constituídos de condutores e semicondutores, e estão presentes no cotidiano da sociedade.

Não é tarefa fácil entender o motivo de tanta dificuldade para essa inserção, já que muitos alunos do ensino médio (e até mesmo os universitários) registram imagens e sons filmados com suas microcâmaras embutidas em seus celulares, ou quando escrevem trabalhos em computadores pessoais, guardando-os em pequenos pen-drives, ou até mesmo nos próprios celulares, onde, atualmente possuem grande espaço de memória virtual. Por que não ensinar essa física atual aos alunos da escola média? Não seria atraente fazer o aluno compreender o funcionamento de tais equipamentos e levá-lo a refletir sobre o impacto cultural e econômico que os mesmos causam na sociedade?

Essas e outras questões nos levam a algumas reflexões, como: Esse assunto é de interesse no ensino atual? A física moderna pode ser considerada cultura para os alunos do ensino médio ou é somente para os engenheiros e especialistas? Ou ainda, alunos da escola média não possuem bases matemáticas suficientes para entender essa física moderna dita 'complexa'? [MARTINS (Org.), 2009] Essas perguntas batem de frente com o ensino de química e de biologia, onde, a primeira leciona, por exemplo, sobre a periodicidade das propriedades das substâncias e sobre o modelo de camadas para entender ligações iônicas e covalentes; e a segunda ensina sobre a genética molecular. Note que tanto a química quanto a biologia trabalham temas da base quântica, então, volta-se à pergunta: "Porque não ensinar física moderna no ensino médio já que a química e a biologia o fazem?".

Introduzir a física moderna no ensino médio significa fazer o aluno entender o mundo contemporâneo ao seu redor, levando a questionar e a refletir sobre o que está sendo usado para determinados fins e se isso é economicamente e culturalmente viável. O aluno que compreende os conceitos da física de partículas pode entender o funcionamento da geração de energia elétrica através da luz solar e analisar se é viável utilizá-la ou não, se embasando em visões econômicas e socioculturais, por exemplo: A utilização da energia solar polui o meio ambiente? É

de custo vantajoso para a sociedade? O aparelho que transforma luz solar em energia elétrica possui uma grande duração de tempo, ou seja, é necessário trocá-lo várias vezes? Esse tipo de discussão leva o ensino de física para fora da sala de aula, fazendo as conexões Física-Tecnologia-Meio Ambiente-Sociedade.

Com os fatos vistos em tela, observa-se que está mais do que na hora de ampliar a visão do aluno contemporâneo para fora da sala de aula fazendo-o entender toda essa gama de informações que é mantida dentro de uma espécie de 'caixa preta' no qual o mesmo não tem acesso. Neste trabalho, tentaremos retirar essa 'caixa preta' focalizando o fenômeno do efeito fotoelétrico através de um experimento que utiliza uma fotocélula como uma espécie de 'válvula' de corrente elétrica. Como veremos mais adiante, esse experimento aborda um efeito que está bastante presente no cotidiano dos alunos: "O funcionamento de um poste de luz".

Para atingir tal objetivo, utilizaremos uma atividade de investigação, no qual, o aluno atuará como protagonista na atividade experimental proposta, e o professor deixará de ser um transmissor do conhecimento, passando a agir como um guia.

Existem diversas ramificações de 'Atividade Investigativa' [AZEVEDO, 2004]. No caso presente, trabalharemos com 'Demonstração Investigativa', que segue o seguinte roteiro: **1)** partir de um problema que esteja ligado com o cotidiano dos alunos; **2)** o professor levanta questões que faça os mesmos raciocinar (argumentar, levantar hipóteses, questionar); **3)** o professor realiza a atividade experimental para toda a classe; **4)** o professor volta a levantar questões que leva o aluno a ter um pensamento crítico sobre o fenômeno observado com o intuito de fazer o mesmo responder a questão problema inicial.

Para entender melhor essas e outras questões, organizei essa monografia em 5 capítulos, além desta introdução. No **Capítulo 1**, discutiremos sobre a metodologia utilizada em sala de aula e sobre os materiais que compõem o experimento. No **Capítulo 2**, construiremos a definição do efeito fotoelétrico passando pelos três maiores cientistas que contribuíram para a descoberta do mesmo. O **Capítulo 3** é dedicado ao entendimento dos dispositivos eletrônicos. As características do nosso experimento e o relato da atividade estarão expostas no **Capítulo 4** e encerraremos nossa discussão com o **Capítulo 5**.

CAPITULO 1 – METODOLOGIAS E MATERIAIS

1.1. ESTRATÉGIA DE ENSINO

Atualmente, não se faz difícil de perceber o quão anacrônico é a hegemônica metodologia clássica dada nas instituições educacionais [MARTINS (Org.), 2009]. Tal metodologia que não realiza a interdisciplinaridade, ou, não como deveria; trabalha a física como se a mesma não tivesse história nem contradições; focaliza-se em problemas de aplicação com uma tendência ao operativismo (ou seja, exercícios repetitivos); etc. Os resultados desta prática ultrapassada apresentam-se claras quando se trata de avaliação de ensino-aprendizado, como, por exemplo: alunos com uma visão deformada do que é ciência. Essas são apenas algumas das diversas considerações que mostram a grande deficiência que o ensino atual de física possui.

Partindo dessas considerações, torna-se necessário um diferente método de abordagem em sala de aula. Para tanto, usaremos como estratégia um trabalho de “**Atividade Investigativa**”, utilizando uma dinâmica chamada de “**Demonstrações Investigativas**”, no qual, se preocupa em levar o aluno a ter participação ativa no seu processo de aprendizagem.

De acordo com [AZEVEDO, 2004], podemos definir uma Atividade de Demonstração Investigativa como sendo “... *as demonstrações que partem da apresentação de um problema ou de um fenômeno a ser estudado e levam a investigação a respeito desse fenômeno*”.

Esses problemas vistos na definição acima, não devem ser ‘fechados’, ou seja, para poder resolvê-los, se faz necessário seguir um determinado roteiro. Eles devem ser ‘abertos’, onde o aluno possui total autonomia sobre os métodos metodológicos que o levam até a solução do problema.

Carvalho ainda chama a atenção para como se deve proceder em uma atividade de investigação:

“Para que uma atividade possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve ser limitada apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve

refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica." [AZEVEDO, 2004, p. 20]

Em uma atividade investigativa, o aluno deixa de exercer o papel de observador das aulas (muitas vezes expositivas e repetitivas) para ganhar o papel de protagonista da mesma, passando a ter mais interação sobre o que lhe está sendo apresentado, levando-o a pensar, criticar, agir, questionar e argumentar.

Contudo, quando o aluno adota essa nova postura em sala de aula, o professor deve estar preparado para conduzi-lo durante todo o processo da atividade. Para tanto, o professor deve saber fazer questionamentos, apresentar situações desafiadoras, estimular a curiosidade dos alunos, levá-los a questionar o seu dia-a-dia. Para que isso possa ocorrer, o professor não deve apenas saber o que está lecionando, mas que o mesmo saiba como guiar os pensamentos dos alunos a um raciocínio crítico e científico. Nessas condições, o professor ganha uma nova posição: Guia do processo de aprendizagem.

Carvalho aponta para a importância e influência que o professor possui em uma atividade que aborda uma dinâmica investigativa da seguinte maneira:

"E o professor que propõem problemas a serem resolvidos, que irão gerar idéias que, sendo discutidas, permitiram a ampliação dos conhecimentos prévios; promove oportunidades para a reflexão, indo além das atividades puramente práticas; estabelece métodos de trabalho colaborativo e um ambiente em sala de aula em que todas as idéias são respeitadas." [AZEVEDO, 2004, p. 22]

No entanto, quais seriam os procedimentos para trabalhar esse tipo de atividade?

Primeiramente, o fenômeno (por meio de um experimento) ou um problema aberto (que esteja ligado com o seu cotidiano) deve ser apresentado. Como foi dito anteriormente, não pode ser um problema que seja facilmente respondido, mas que estimule a curiosidade científica dos alunos. Com isso, os alunos devem ser orientados a formular hipóteses sobre como resolver a questão proposta por meio de uma discussão criada pelo professor. Vale lembrar, que o professor deve discutir a validade de todas as hipóteses criadas pelos alunos. É nesse momento que o professor deve estar preparado para realizar perguntas desafiadoras que irão levar

os alunos para um pensamento científico sobre o problema aberto ou sobre o fenômeno observado.

Caso seja uma atividade experimental demonstrativa, seria de grande importância que as perguntas feitas pelo professor para os alunos fossem questões relacionadas com o cotidiano dos mesmos, com o intuito de causar curiosidade chamando a atenção deles para a atividade proposta.

Os procedimentos acima são voltados para uma atividade de demonstração, porém, existem outros tipos de atividade que envolve investigação, como: *Laboratório aberto*; *Questões abertas* e *Problemas abertos*. Contudo, possuem um objetivo em comum:

“... levar os alunos a pensar, debater, justificar suas idéias e aplicar seus conhecimentos em situações novas, usando os conhecimentos teóricos e matemáticos.” [AZEVEDO, 2004, p. 24]

1.2. Metodologia aplicada no dia da atividade

No capítulo 4, trabalharemos como ocorre o funcionamento do nosso experimento que aborda o fenômeno do efeito fotoelétrico. No entanto, nesta etapa, iremos expor os procedimentos experimentais aplicados no dia em que se realizou o mesmo.

O experimento foi realizado na data de 26/11/2012, na instituição educacional G. P. Haroldo Barbosa – CIEP 389 com participação de 17 alunos do 3º ano do ensino médio. Percebe-se que o experimento foi realizado no final do ano letivo, justificando o baixo número de participação dos alunos na atividade.

Além do material experimental que será exposto na 3ª parte deste capítulo, foram confeccionados 2 roteiros: 1 para o professor e 1 para o aluno, onde ambos se encontram nos Anexos 1 e 2, respectivamente. Para poder organizar melhor toda a dinâmica de aplicação da atividade, o experimento foi dividido em duas partes: **1)** Fazer o aluno entender o fenômeno do efeito fotoelétrico (utilizando um circuito com seus dispositivos eletrônico em série); **2)** Fazer a conexão entre Cotidiano-Ciência (utilizando um circuito com seus dispositivos eletrônico em série e em paralelo).

Levando em consideração todas as condições supracitadas, podemos entrar na dinâmica da atividade. Contudo, neste capítulo não iremos relatar os fatos que ocorreram no dia em que se realizou o experimento, pois está exposto no Capítulo 4. Nesse momento iremos apresentar a metodologia aplicada na data em questão.

O experimento foi aplicado em 4 etapas devidamente especificadas em cada tópico abaixo:

1ª etapa: Revisão e Motivação

Antes que se iniciem as atividades com os alunos, faz-se uma breve revisão de resistência e de circuitos elétricos (série e paralelo) com o intuito de sanar as dúvidas dos alunos sobre esses assuntos (para que a atividade seja bem sucedida, os alunos devem compreender bem esses conceitos). Com isso, deve-se investigar qual conhecimento sobre o assunto os alunos trazem do mundo para dentro da sala de aula. Para tanto, foi utilizado uma '*Avaliação Diagnóstica*', que no caso, foi composta de um conjunto de perguntas e respostas ligada a atividade cotidiana deles (o número de questões é critério de quem aplica!). No entanto, poder-se-ia usar o tópico '*Introdução*' que se encontra no início do roteiro de atividades do aluno (Anexo 2), pois, ele possui algumas curiosidades que aborda os fenômenos que serão apresentados ao longo do experimento.

2ª etapa: Proposta do problema

Aqui, o problema principal foi apresentado. Vale lembrar, que não poderia ser uma pergunta de fácil compreensão, mas que leva-se os alunos a refletir sobre a mesma.

3ª etapa: Realização dos experimentos e conclusão do efeito fotoelétrico

Dando início a primeira parte do experimento. Como foi dito no início desta sessão, ele tem como objetivo entender o efeito fotoelétrico, logo, a mesma só termina quando seu objetivo é alcançado. Essa é a etapa mais rica da atividade, pois, os alunos começam com a sua atividade de investigação.

Continuando, a segunda parte do experimento foi realizada com o intuito de levar a física que está sendo apresentada para fora da sala de aula.

Questionamentos foram feitos para que os alunos pudessem fazer a ligação Ciência-Sociedade.

Tanto o primeiro experimento quanto o segundo, os alunos puderam manuseá-los possibilitando maior interação com a física em questão.

4ª etapa: Resposta à questão inicial

Essa é a ultima parte da atividade: levar os alunos a dar a resposta ao problema inicial. Porém, no nosso caso, além da principal pergunta feita no inicio da atividade, foram feitas mais duas outras perguntas com o intuito de explorar mais o aprendizado dos alunos.

1.3. Material utilizado

Para que a atividade ocorra, dois circuitos foram confeccionados: o primeiro para a atividade de demonstração com o enfoque em explicar o fenômeno do efeito fotoelétrico, e o segundo, para levar os alunos a enxergar a física no seu cotidiano. Segue abaixo a lista de todos os materiais necessários (*Tabela 1*) para a construção do Experimento do Efeito Fotoelétrico junto com o seu custo aproximado para o ano de 2012:

O Experimento do Efeito Fotoelétrico		
Material	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Bateria de 9V	1 unidade	4,50
LDR (tamanho pequeno)	1 unidade	0,50
LED (de qualquer cor)	1 unidade	0,45
Resistor de 240 Ω	1 unidade	0,20
Garras de jacaré	6 unidades	0,75
Suporte para bateria	1 unidade	1,00
Valor total do experimento		11,15

Tabela 1 – Listas dos materiais do Experimento do Efeito Fotoelétrico

Ressaltando que a maioria dos materiais podem ser encontrados em lojas de componentes eletrônicos. A plataforma do circuito utilizado foi um pedaço de

madeira lisa com PVC branco na parte superior. No entanto, pode-se por qualquer tipo de suporte, até mesmo papelão.

Para o 2º experimento, os materiais juntamente com o seu custo (referente ao ano de 2012), estão listados na *Tabela 2* abaixo:

O Experimento do Poste de Luz		
Material	Quantidade	Preço por unidade (R\$)
Bateria de 9V	2 unidades	4,50
LDR (tamanho pequeno)	1 unidade	0,50
LED (de qualquer cor)	1 unidade	0,45
Resistor de 240 Ω	1 unidade	0,20
Resistor de 168k Ω	1 unidade	0,20
Resistor de 68k Ω	1 unidade	0,20
Garras de jacaré	18 unidades	0,75
Transistor	1 unidade	0,75
Suporte para bateria	2 unidades	1,00
Valor total do experimento		26,80

Tabela 2 – Listas dos materiais do Experimento do Poste de Luz

Além dos materiais listados nas tabelas acima, foi comprado 3 metros de fio preto, onde o mesmo custa R\$ 0,75/metro (ano de 2012). Em geral, observando o custo total dos experimentos, vemos que eles são baratos e acessíveis.

No Capítulo 4, veremos como os mesmos foram aplicados em sala de aula e qual foi a reação dos alunos mediante a observação do fenômeno.

CAPITULO 2 - EFEITO FOTOELÉTRICO: DE HERTZ, PASSANDO POR LENARD, A EINSTEIN.

2.1. Heinrich Rudolf Hertz

O primeiro a observar o fenômeno do efeito fotoelétrico foi *Heinrich Rudolf Hertz*, nascido em uma próspera e culta família hanseática no estado de Hamburgo (Alemanha) no ano de 1857. Hertz, em 1887, tinha o propósito de mostrar a validade da teoria de James Maxwell produzindo e detectando ondas eletromagnéticas. Para tanto, ele criou um circuito não fechado ligado a uma bobina de indução, detectando-as em uma simples espira de fio não-fechada [CIENTÍFICAS, 2010].

Hertz realizou o experimento em um auditório com pouca iluminação (auditório de Karlsruhe), e pôde ver fracas centelhas na lacuna de ar do detector deslocando-se para diferentes pontos do auditório. Nesse momento, algo muito interessante ocorreu: ele notou que a centelha do circuito detector era mais intensa quando o mesmo era exposto a luz (predominantemente, violeta e ultravioleta) da centelha do circuito primário. Com isso, Hertz verificou logo que, quando a luz incidia na superfície do circuito detector, liberava os elétrons o mesmo ocorrendo no vácuo. Este fenômeno recebeu o nome de efeito fotoelétrico.

O fato curioso é que com a tentativa de comprovar a teoria de Maxwell, Hertz acabou presenciando, acidentalmente, o efeito fotoelétrico. Contudo, o mesmo não se dedicou a esse estudo, já que se tratava de uma digressão de seu propósito original (comprovar a teoria de Maxwell). Essa foi a primeira evidência experimental da quantização.

2.2. Philipp Eduard Anton Von Lenard

No entanto, o físico alemão *P. Lenard* (1862-1947) que trabalhava com Hertz pesquisando sobre os raios catódicos, se interessou por estudar tal efeito:

“... Uma descoberta de Hertz já em 1887, concluída pouco tempo depois por Hallwachs, mostrou que por simples exposição

à luz ultravioleta, placas metálicas desprendem eletricidade negativa para o ar. Este fato notável - hoje normalmente conhecido como efeito fotoelétrico - imediatamente capturou meu interesse naquela época e também continuou a fazê-lo desde então.” [LENARD, 1906 apud ALVES]

A explicação desse efeito pode ser facilmente compreendida de modo qualitativo do ponto de vista da teoria do eletromagnetismo: a radiação eletromagnética é uma perturbação no campo elétrico e magnético, e que esses campos podem transferir energia para o elétron que se encontra na superfície do metal, dando-lhe energia para se livrar da atração eletromagnética presentes nos átomos do mesmo. Lenard conseguiu chegar nessa conclusão através da teoria ondulatória:

“... considerando-se o efeito da luz ultravioleta sobre a placa, devemos imaginar que as ondas de luz fazem com que os átomos do interior do metal na placa vibrem. Nós mencionamos anteriormente que a descoberta de Zeeman provou que átomos contem eletricidade negativa capaz de vibração. Se a co-vibração de um quantum negativo no átomo, por causa das ondas de luz, torna-se demasiado violenta, ele liberta-se do átomo, e, assim, da placa, criando um raio catódico.” [LENARD, 1906 apud ALVES]

Contudo, Lenard descobriu aspectos que não se adaptavam a visão clássica tradicional. Observe na *Figura 1* o esquema experimental semelhante ao que Lenard utilizou:

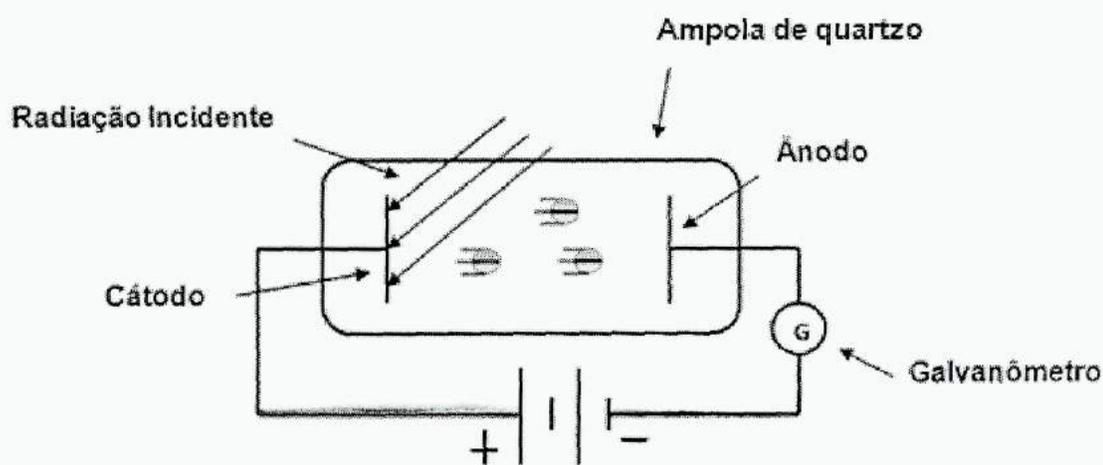


Figura 1 – Experimento de Lenard

Tal arranjo é composto por uma bateria, um recipiente de vidro fechado com vácuo em seu interior, duas placas de metal (um anodo e um catodo) e uma parte do recipiente que envolve as placas é composta de quartzo, onde a luz irá incidir pelo mesmo (o quartzo foi escolhido porque é transparente a esta escala espectral e o vidro ordinário é opaco). A luz que incidir no catodo irá liberar elétrons (fotoelétrons). Quando esses fotoelétrons chegarem ao anodo, atraídos mediante uma diferença de potencial " V ", será produzida uma corrente que é registrada por um galvanômetro. Lenard chegou as seguintes conclusões:

- Primeiramente, a razão pela qual os elétrons deixem a placa é somente pela incidência da radiação. Um gás não precisa estar presente, mas ele também não interfere na criação de raios catódicos;

Antes de apresentar as suas outras conclusões, vale ressaltar e analisar o seguinte comentário que Lenard fez sobre a velocidade dos elétrons ejetados.

"... As velocidades iniciais com as quais os quanta deixam a placa são tão pequenas, que uma carga negativa de apenas alguns volts na outra placa é suficiente para obrigar os raios a inverter seu curso antes de atingi-la. Eles então voltam para a placa irradiada da mesma maneira que uma pedra atirada para cima cai de volta para o chão. Aqui, portanto, obtemos raios catódicos extremamente lentos; raios mais rápidos podem ser produzidos apenas por carregar a outra placa positivamente. A velocidade dos raios pode ser controlada livremente pelo nível de tensão da placa oposta." [LENARD, 1906 apud ALVES]

Os resultados quantitativos para uma experiência desse tipo possuem aspecto ilustrado no *Gráfico 1*.

Para uma radiação com frequência fixa, os elétrons ejetados pelo catodo são coletados pelo anodo para uma diferença de potencial " V " positiva, correspondendo a uma corrente constante.

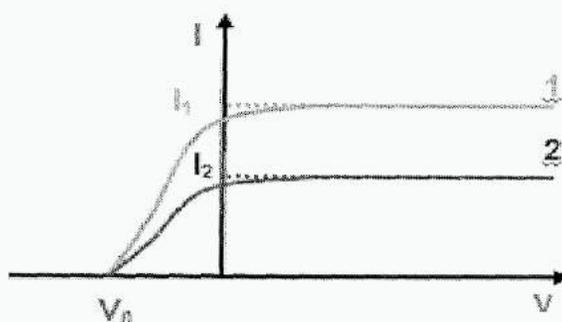


Gráfico 1 – Gráfico de i em função de V

Se invertermos a polaridade da voltagem, procurando frear os elétrons em vez de aumentarmos a velocidade dos mesmos, a corrente continuará passando no mesmo sentido, contudo, decairá à medida que $|V|$ aumenta, até que se anulará para um determinado V , que será chamado de *potencial de corte* (V_0). Se caso aumentarmos a intensidade da **Corrente 2** para a **Corrente 1** haverá um aumento no número de fotoelétrons arrancados, mas a aparência da curva permanecerá constante, como pode-se notar no *Gráfico 1*.

Continuando com as conclusões de Lenard:

- Na Teoria clássica a energia luminosa é uniformemente distribuída sobre a frente de onda. Logo, se a luz é muito fraca existe um tempo de atraso mensurável entre o momento que se incide a luz e se começa a observar o efeito fotoelétrico ocorrer, porém isso nunca foi observado;
- Se aumentar a intensidade da luz incidente sobre uma placa de metal ocorrerá um aumento no número de elétrons ejetados da mesma, porém, a velocidade dos elétrons permanece inalterada.

Este último foi muito confuso na época, pois a teoria clássica diz que ao aumentarmos a intensidade da radiação incidente mais intensa será a energia com que os elétrons são ejetados [NUSSENZVEIG, 1998]. Pois, quanto mais intensa é a radiação eletromagnética, mais intensos são os campos elétricos, logo esses campos produzem grandes forças nos elétrons, aumentando sua energia cinética. No entanto, não foi isso que se observou.

Leonard tentou explicar o fato observado dizendo que "... a energia de fuga não vem da luz, mas a partir do interior do átomo particular. A luz só tem uma ação inicial, um pouco como a do fusível ao disparar uma arma carregada.". Porém, estudos posteriores mostraram que: LENARD (1906 apud ALVES)

- Para frequências muito baixas, nenhum elétron era emitido, independente da intensidade da luz incidente. Para frequências acima de um determinado valor, a energia cinética dos elétrons emitidos é proporcional a frequência da luz.

No entanto, isso também vai contra a teoria clássica, pois a mesma fala que o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência, já que só necessitaria de uma luz suficiente intensa para dar a energia necessária para emitir o fotoelétron.

Para entendermos melhor essa questão, utilizaremos uma fonte de luz (lâmpada de vapor de mercúrio, por exemplo), e decompondo essa luz por uma rede de difração e fazendo que cada cor decomposta de feixe original incida no catodo (potássio) pela parede de quartzo, como na *Figura 1*. A corrente elétrica formada para cada cor está representada no *Gráfico 2* (destacamos duas cores hipotéticas, onde a frequência da radiação 1 é superior a da radiação 2). Como $E = e \cdot V_0$, onde 'E' é energia e 'e' é a carga de um elétron, vemos que cada cor, ou seja, cada feixe de luz com a determinada faixa de frequência ejeta elétrons com energias diferentes independente da intensidade da radiação incidente. Esses elétrons emitidos são acelerados por uma diferença de potencial (ddp) definindo uma corrente elétrica que pode ser registrada por um galvanômetro.

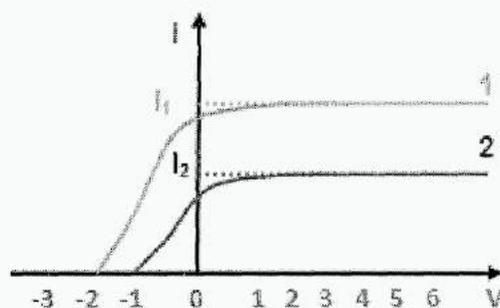


Gráfico 2 – Gráfico de I em função da potência

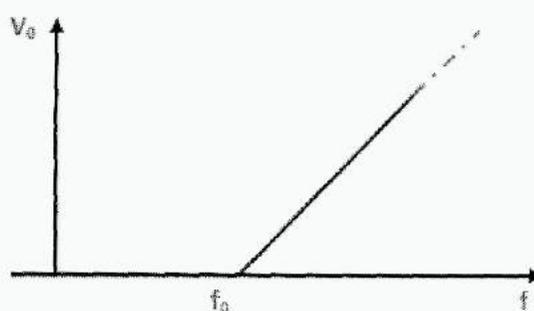


Gráfico 3 – Gráfico de V_0 em função da frequência

Verifica-se também, através dos gráficos, que o aspecto qualitativo das curvas tende a ficar constante, porém, o valor do potencial de corte aumenta linearmente com a frequência (*Gráfico 3*).

Após todos os fatos vistos acima, poderemos listar todas as conclusões feitas até aqui [PIETROCOLA *et. al*, 2011]:

- Se a radiação eletromagnética não incidir no catodo, não existira corrente elétrica no circuito;
- A corrente elétrica é nula até que seja atingida uma frequência mínima (f_0), independência da intensidade da luz incidente;
- A energia cinética dos elétrons ejetados varia linearmente com a frequência da radiação, independentemente da intensidade da radiação incidente;
- Para valores de frequência acima de f_0 , (frequência mínima para que ocorra o efeito fotoelétrico), ao variar a intensidade da radiação que incide no catodo, observa-se um aumento da corrente elétrica no circuito.

Todas as conclusões expostas até o presente momento são importantes aspectos qualitativos do efeito fotoelétrico. Porém, como interpretar quantitativamente esses resultados?

2.3. Albert Einstein

O primeiro a fazer tal interpretação quantitativa foi o físico alemão *Albert Einstein* no ano de 1905 [CIENTÍFICAS, 2010]. O mesmo propôs que a radiação eletromagnética não fosse tratada como contínua no espaço (clássica teoria ondulatória), mas que ela fosse constituída por 'pacotes de energias'. Einstein nomeou esses pacotes de energias de *quantas de energias*. Essa afirmação contradiz a teoria clássica ondulatória, que afirma que a radiação eletromagnética deve ser tratada como onda, não como uma partícula.

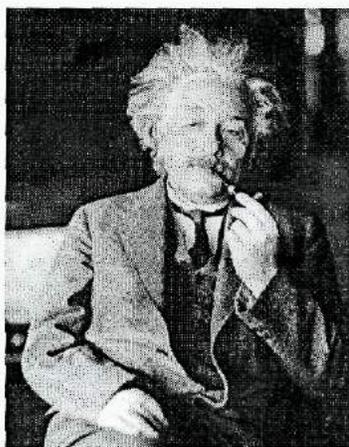


Figura 2 – Albert Einstein

Com isso, Einstein propôs a seguinte explicação para o efeito fotoelétrico:

“... A camada superficial do corpo é penetrada por quanta de energia cuja energia é convertida, pelo menos parcialmente, em energia cinética dos elétrons. A concepção mais simples é a de que um quanta de luz transfere sua energia total para um único elétron. Admitiremos que isso possa ocorrer. Entretanto, não excluiremos a possibilidade de que elétrons absorvam apenas uma parte da energia dos quanta de luz.

Um elétron, do interior do corpo, que possua energia cinética terá perdido parte dessa sua energia quando tiver atingido a superfície. Além do mais, admitiremos que, ao deixar o corpo, cada elétron deve despende um certo trabalho P (característico do corpo). Os elétrons que deixam o corpo com a maior velocidade perpendicular são aqueles localizados bem na superfície e que são ejetados na direção normal em relação a ela.” [EINSTEIN, 1905 apud STACHEL]

Esses ‘pacotes de energias’ ou ‘quantas de energias’ receberam o nome de *fótons* no ano de 1926 num trabalho do físico e químico *Gilbert N. Lewis*, e essa energia é expressa por:

$$E = hf \quad (1)$$

em que **E** é a energia da radiação eletromagnética, **f** é a frequência da radiação, **h** é uma constante que vale $6,63 \times 10^{-34}$ Js. Essa constante recebeu o nome de *Constante de Planck* em homenagem ao físico alemão *Max Planck* que a descobriu. Ele foi o primeiro a considerar a energia total da radiação eletromagnética com a soma discreta das energias das partículas que a constitui (pacotes de energias, os fótons). Essas partículas viajam na velocidade da luz e não possuem massa.

Para entender melhor o que Albert Einstein mencionou em seu artigo, podemos definir o efeito fotoelétrico da seguinte forma: os elétrons dentro de um material estão confinados pelas forças de ligações entre as cargas presentes no mesmo. Quando um fóton incide sobre a superfície deste material, ele será totalmente absorvido por um único elétron, dando-lhe energia cinética. Porém, para que ocorra a ejeção fotoelétrica, é necessário gastar certa energia mínima para vencer a força de atração entre os átomos presentes na superfície do sólido. Como foi mencionado por Einstein, essa energia é chamada de ‘*Função Trabalho*’ que é uma característica do material (para expressar essa energia, usaremos a letra ‘**w**’) [NUSSENZVEIG, 1998]. Agora, pela conservação da energia, a energia fornecida pelos fótons (**E**) deve ser igual a soma da energia gasta para que o elétron se liberte da superfície do material (**W**) com a energia cinética máxima dos fótons elétrons emitidos (**E_c**). Logo, temos:

$$E = hf = E_c + W \quad (2)$$

ou, ainda:

$$eV_0 = (1/2)m_e V_m^2 = hf - W \quad (3)$$

onde, e é a carga do elétron, V_0 é o potencial de corte, V_m é a velocidade máxima dos elétrons ejetados e m_e é a massa do elétron.

A última expressão é a equação de Einstein do efeito fotoelétrico. Ela explica imediatamente a relação entre V_0 com f . Como o próprio mencionou:

"... Se a formula deduzida for correta, então (3), quando colocado no gráfico em coordenadas cartesianas, em função da frequência da luz incidente, deve fornecer uma linha reta cuja inclinação é independente da natureza da substância em análise." [EINSTEIN, 1905 apud STACHEL]

Várias características do efeito fotoelétrico classicamente inexplicáveis podem ser explicadas imediatamente analisando a equação de Einstein. Se aumentarmos a intensidade da radiação incidente, haverá um aumento no número de fótons incidindo na superfície do material, logo aumentará o número de fotoelétrons ejetados pelo mesmo; Se a frequência da radiação incidente for menor que V_0/h , então os fótons possuem energia inferior a função trabalho, com isso, por mais que os elétrons ganhem energia cinética ao absorver os fótons, eles não serão emitidos do material. Isso explica a existência de uma frequência de corte, abaixo do qual não existe nenhuma ejeção de elétrons.

Desde descoberta de Einstein até o ano de 1916, o físico americano *R. A. Millikan* se ocupou com diversas experiências de medidas comparativas e cuidadosas com o intuito de demonstrar que a afirmação de Einstein estava incorreta. No entanto, acabou confirmando sua teoria e apresentou resultados como no *Gráfico 4* a seguir.

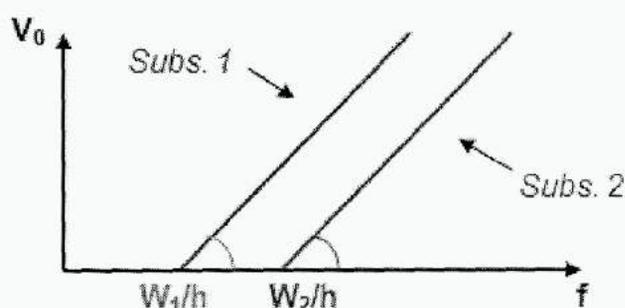


Gráfico 4 – Variação de V_0 com f

Note que o gráfico vem confirmando o que Einstein disse, onde o potencial de corte varia linearmente com a frequência do material e que o coeficiente angular é o mesmo para ambas as substâncias. A única mudança é no ponto de interseção com o eixo das abscissas, pois são materiais diferentes.

Atualmente, o efeito fotoelétrico é utilizado para o funcionamento de diversos equipamentos presentes no nosso cotidiano, como os sensores das portas dos shoppings. E ele já foi identificado em vários outros fenômenos naturais diferentes, como, por exemplo, na explicação da existência da cauda dos cometas.

A descoberta de Einstein foi impressionante porque ele demonstrou quantitativamente que a luz pode ser tratada como um corpúsculo sem massa e que viaja a 3×10^8 m/s, podendo exercer força e possuindo quantidade de movimento. Foi graças a esta descoberta que Albert Einstein ganhou em 1921 o prêmio Nobel e que o tornou conhecido pelo mundo.

CAPÍTULO 3 - DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

3.1. LDR (Light Dependent Resistor) – Resistor Dependente de Luz

O LDR é um transdutor (dispositivo eletrônico que transforma uma forma de energia em outra forma de energia) fotocondutor, geralmente constituído de materiais sensíveis a luz, como Sulfeto de Cádmo (CdS) ou Seleneto de Cádmo (Cd Se), contendo zero ou muito poucos elétrons livres, quando não sujeito à radiação luminosa, ou seja, o LDR (*Figura 3*) não passa de um resistor sensível a luz, onde sua resistência diminui com o aumento da quantidade de luz incidente.

Os LDRs são dispositivos utilizados em diversos equipamentos presentes em nosso cotidiano como, por exemplo: nas células fotoelétricas, que são um dos mais antigos componentes optoeletrônicos. A resistência de um LDR pode alcançar algumas centenas de megohms na ausência de radiação luminosa e, pode ser incrivelmente baixa na presença da mesma.

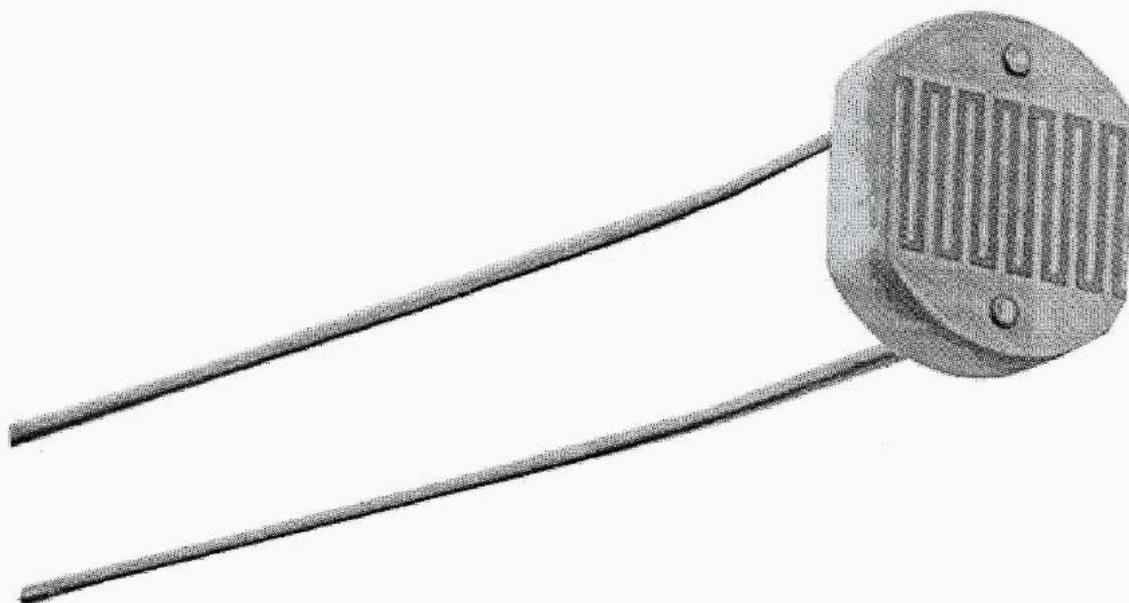


Figura 3 – O LDR

Para melhor compreensão dessa característica, no *Gráfico 5* está representada a curva característica de um LDR.

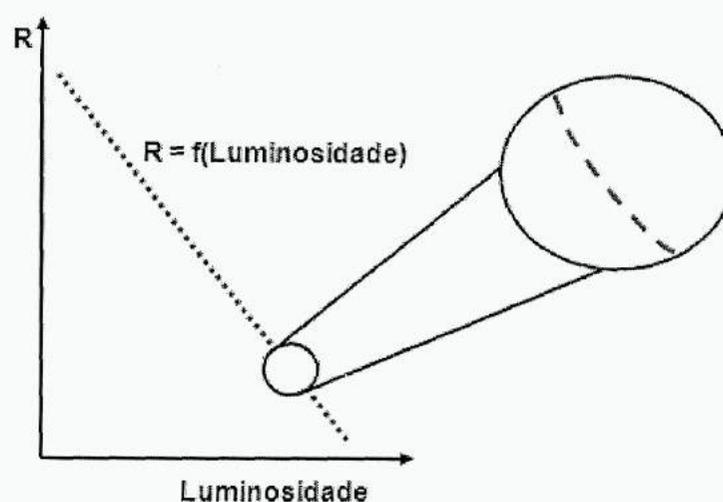


Gráfico 5 – Curva de um LDR

Aparentemente, a resistência decresce linearmente com a luminosidade incidente, no entanto, se olharmos com mais cuidado, vemos que o decréscimo não é exatamente proporcional com o acréscimo de luz.

Os elementos fotossensíveis funcionam através de dois tipos de processos: **Emissão Fotoelétrica**, ou seja, a emissão de fotoelétrons (Capítulo 2) e quebra de ligações covalentes em semicondutores devido à ação dos fótons, o chamado **Efeito Fotoelétrico Interno**. O LDR funciona através do segundo processo. Os elétrons que estão presentes na camada de valência dos átomos recebem energia vinda dos fótons e passam para a camada de condução, podendo assim, se movimentar pelo material (consequentemente, alterando a resistência do material e a corrente no circuito). Esse fenômeno também é chamado de **Efeito Fotocondutivo**. (SILVIA, 2012)

Essa grande sensibilidade à radiação luminosa proporciona diversas aplicações em circuitos que são projetados para trabalhar utilizando níveis baixos de luz e com pouca variação na intensidade luminosa. Além disso, como a sua condutividade aumenta com a presença de luz, o dispositivo pode trabalhar com correntes elétricas elevadas.

A sua maior desvantagem é no tempo de resposta que o dispositivo leva no momento que esta ocorrendo variação da intensidade luminosa. Isto ocorre pelo fato de que os LDRs operam com velocidades inferiores a algumas dezenas de quilohertz, tornando-o um dos mais lentos dispositivos fotocondutivos.

3.2. Algumas características dos transistores bipolares

No Capítulo 5, veremos um transistor bipolar atuando como um divisor de tensão no Experimento do Poste de Luz e enfatizaremos a sua importância para o funcionamento do mesmo. Contudo, este subcapítulo será dedicado as explicações das características inerentes do funcionamento desse dispositivo tão importante.

- Estrutura básica

Para poder entender o funcionamento de um transistor bipolar [ANDRADE; ALQUINO, 2010], temos que, primeiramente, conhecer a sua estrutura interna. O transistor bipolar é constituído de 3 semicondutores com características distintas: o primeiro semicondutor com excesso de elétrons livres (altamente dopado); o segundo, com excesso de lacunas (espaço vazio na molécula que pode ser preenchida com carga negativa tornando-a estável); e o outro semicondutor levemente dopado.

Um semicondutor que possui mais elétrons livres do que lacunas é chamado de **Semicondutor tipo N**. Já o semicondutor que possui maior número de lacunas em relação aos elétrons livres são chamados de **Semicondutor tipo P**. O parágrafo acima descreveu a estrutura de um transistor bipolar do tipo **NPN** (*Figura 4*), no entanto, existem diversos tipos de transistores, inclusive o tipo **PNP** que funciona de forma semelhante ao anterior.

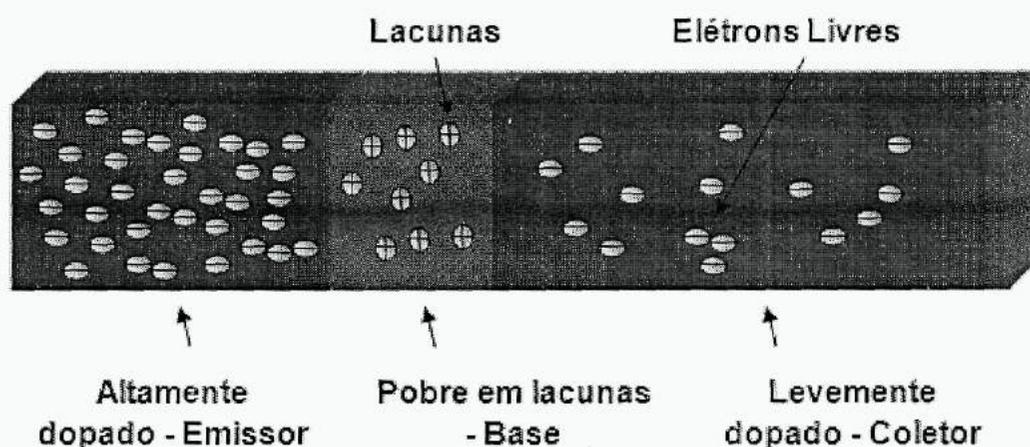


Figura 4 – Transistor do tipo NPN

Agora, vamos analisar somente uma junção **PN** (*Figura 5*). Os elétrons livres do material tipo N são atraídos pelas lacunas do material tipo P. Com isso, alguns elétrons conseguem passar do material tipo N para o material tipo P, conseqüentemente, os átomos que perdem os elétrons ficam ionizados positivamente (cátions) e os que recebem ficam ionizados negativamente (ânions). Na junção cria-se um campo elétrico impedindo que outros elétrons passem do material tipo N para o material tipo P.

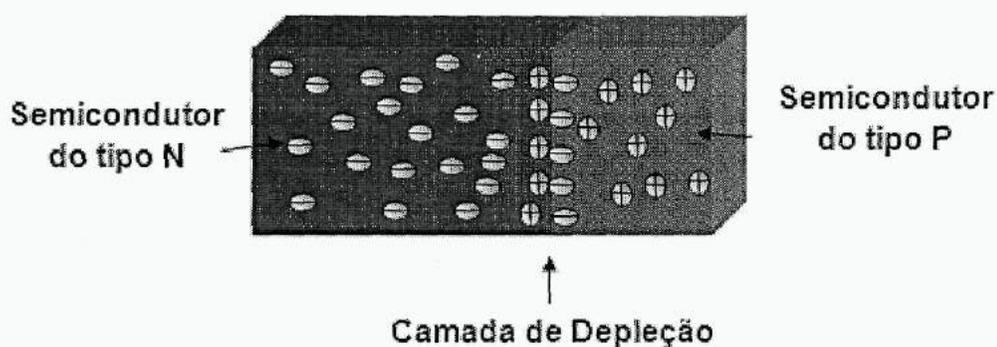


Figura 5 – Junção PN

Na junção PN (*Figura 5*), temos o que é chamado de “**Camada de Depleção**”, ou seja, a mesma é o local onde se encontra os cátions e ânions. Devido à camada de depleção, ocorre a barreira de potencial que pode até impedir a passagem de corrente elétrica. A *Figura 5* representa o esquema de um diodo. Então, observando a *Figura 4*, vemos que um transistor NPN é, simplesmente, dois diodos – NP e PN.

A barreira de potencial (tensão entre a base e o emissor) que impede a passagem da corrente elétrica (na temperatura de 25°C) é de aproximadamente **0.7V** para os transistores constituídos de silício (caso do experimento).

Vale a pena ressaltar que: quando o número de elétrons livres são maiores que o número de lacunas, dizemos que os elétrons são os ‘*portadores majoritários*’ e as lacunas são os ‘*portadores minoritários*’; quando o número de lacunas é superior ao número de elétrons livres, dizemos que as lacunas são os ‘*portadores majoritários*’ e os elétrons são os ‘*portadores minoritários*’.

Continuando, os três semicondutores do transistor, possuem funções diferenciadas (*Figura 4*): o Semicondutor **A** é chamado de “**Emissor**” e sua tarefa é

enviar os portadores para o Semicondutor **B** que é chamado de “**Base**” e, posteriormente, para o Semicondutor **C** que é chamado de “**Coletor**”. O Coletor, como o nome diz, coleta os portadores que atravessam a Base. A Base atua como a região de controle de fluxo de portadores de carga do emissor para o coletor. Observe a *Figura 6* abaixo:

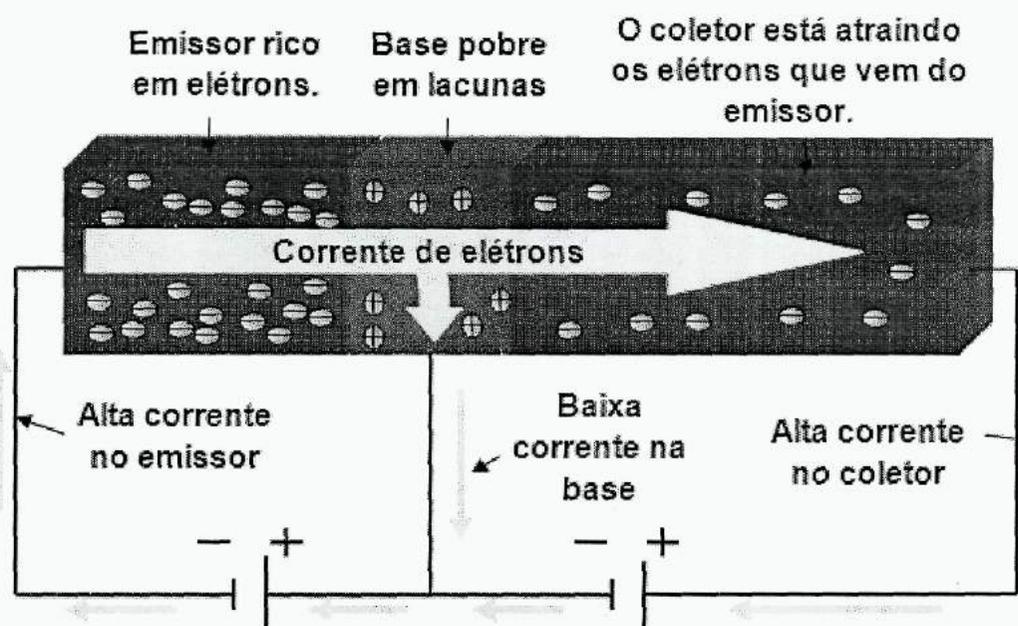


Figura 6 – Circuito utilizando um transistor

- As relações entre corrente elétrica e potência

O transistor bipolar pode ser utilizado de diversas maneiras para inúmeras utilidades, porém, como foi mencionado no primeiro parágrafo desta seção, uma das atividades que será abordada no Capítulo 5 utiliza um circuito que possui um transistor exercendo a função de divisor de tensão. Logo, para poder compreender essa parte da atividade, faz-se necessário o entendimento da função do transistor como um divisor de tensão [ANDRADE; ALQUINO, 2010].

Para tanto, vamos continuar entendendo sobre os conceitos físicos que ocorre nos transistores. Na *Figura 7*, estão representados as correntes e os potenciais (com seus sentidos) que aparecem no dispositivo quando o mesmo está presente em um circuito.

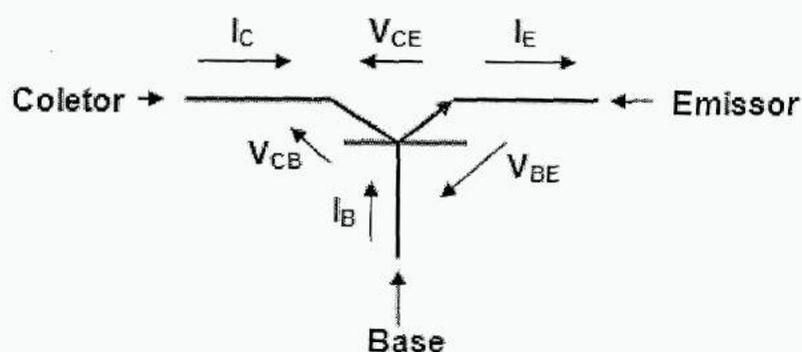


Figura 7 – Correntes e potenciais em um transistor

onde: I_B = Corrente da base; I_C = Corrente no Coletor; I_E = Corrente do emissor; V_{BE} = Diferença de potencial entre a base e o emissor; V_{CB} = Diferença de potencial entre o coletor e a base; V_{CE} = Diferença de potencial ente o coletor e o emissor.

Observando o esquema acima, podemos tirar as seguintes conclusões:

$$I_E = I_C + I_B \quad (4)$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE} \quad (5)$$

Um conceito muito importante é o chamado **Ganho de Corrente** (α), que é uma equação que relaciona a corrente elétrica do coletor com a corrente elétrica da base (*Equação 6*).

$$\alpha = I_C / I_B \quad (6)$$

Este ganho de corrente é definido quando o emissor está diretamente ligado a entrada e a saída do circuito, no entanto, este parâmetro serve também quando a base esta em comum com a entrada e a saída do circuito (Base-comum).

- Breve definição da região de corte e da região de saturação

Para entender todos os pontos possíveis de operação do transistor, segue na *Figura 8*, uma reta na curva característica de saída do transistor na configuração

base-comum (recebe esse nome porque a base está na entrada e na saída do circuito).

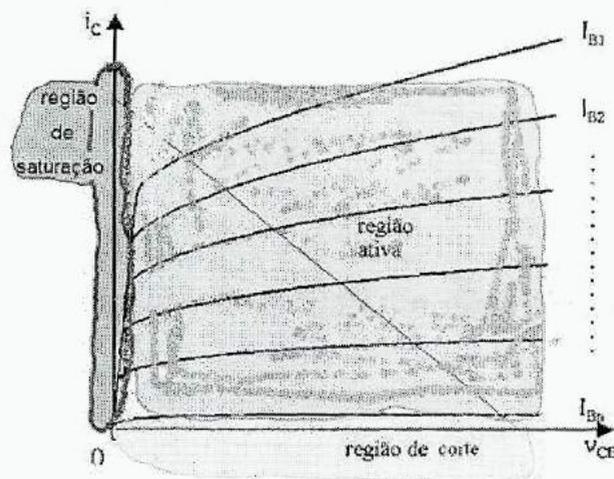


Figura 8 – Curva característica do transistor

Analisando a *Figura 8*, vemos que a região de corte é definida como a região no qual a corrente da base é zero (idealmente) e, com isso, a corrente no coletor também é zero (*Equação 6*). Neste caso, o transistor funciona como uma chave aberta (*Figura 9*). Se aumentarmos a ddp da base, aumentaremos a corrente da base (pois, $I_B = V_{BB}/R_B$) e o transistor entra na fase ativa, onde a corrente na base segue a *Equação 6*: $I_C = \alpha \cdot I_B$, onde α é o ganho de corrente. Se I_B aumentar, I_C aumenta na mesma proporção, porém existe um valor de I_B para o qual um aumento adicional em I_B não provocará aumento em I_C , dizemos que o transistor saturou. Então, pode-se dizer que a saturação é caracterizada por $I_C \leq \alpha \cdot I_B$, onde $I_C = V_{CC}/R_C$ é a corrente de coletor na saturação (estamos admitindo que $V_{CE} = 0$). Em geral, para que haja a saturação, deve ser observada a condição:

$$I_B \geq I_C/\alpha = V_{CC}/\alpha \cdot R_C \quad (7)$$

e, quando o mesmo satura, ele passa a atuar como uma chave fechada (*Figura 10*). Vale lembrar também, que é necessário uma tensão na base superior a **0.7V** para que haja corrente elétrica no transistor (como foi mencionado no início deste Sub-capítulo).

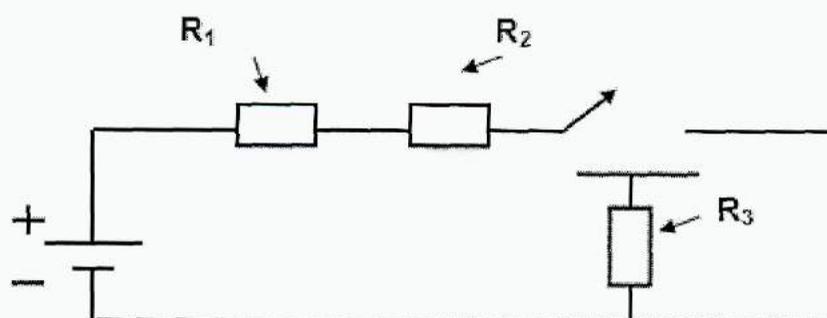


Figura 9 – Transistor atuando na região de corte

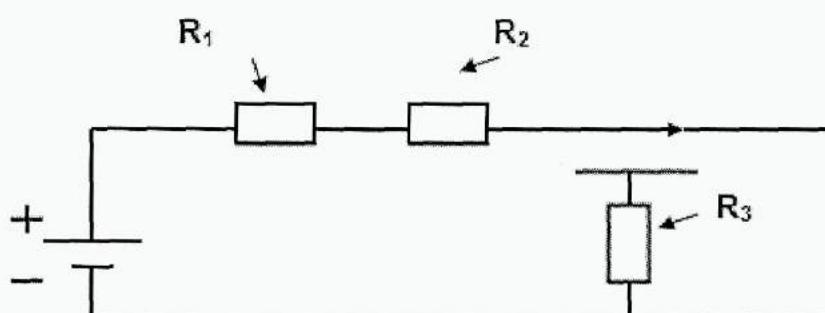


Figura 10 – Transistor atuando na região de saturação

- Transistor atuando como um divisor de tensão

Para entender como um transistor pode atuar como um divisor de tensão em um circuito fechado, vamos analisar o esquema abaixo (Figura 11):

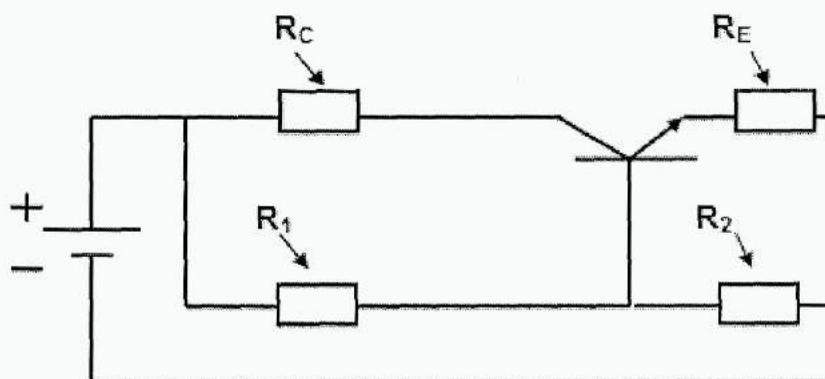


Figura 11 – Transistor atuando como um divisor de tensão

Note que esse é um circuito onde a base está na entrada (V_{cc}) e na saída (0V) do circuito, sendo assim, uma configuração base-comum. Continuando, deve-se determinar o *Equivalente de Thevenin* (utilizaremos Thevenin para simplificar as contas, no entanto, pode-se usar de outros métodos). Como R_1 é paralelo a R_2 , temos, pelo teorema de Thevenin que:

$$R_{th} = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) \quad (8)$$

Com isso, basta trabalhar a relação entre o potencial de Thevenin com V_{cc} , pela seguinte equação:

$$V_{th} = (R_2 / R_1 + R_2) \cdot V_{cc} \quad (9)$$

Note que, para resistores iguais a unidade, a tensão de Thevenin é a metade da tensão V_{cc} .

$$V_{th} = (1 / 2) \cdot V_{cc} \quad (10)$$

CAPÍTULO 4 – OS EXPERIMENTOS E A ANÁLISE DOS RESULTADOS DA ATIVIDADE

No Capítulo 2, descrevemos a metodologia aplicada em sala de aula sobre o experimento em questão e listamos o material que constitui o mesmo (dentre outros assuntos). Agora, voltaremos a atenção ao funcionamento do experimento e a análise dos resultados obtidos.

4.1. O experimento do efeito fotoelétrico e do poste de luz

O esquema do Experimento do Efeito Fotoelétrico está exposto na *Figura 12*. No entanto, aparece um amperímetro (o mesmo não se encontra na lista de materiais exposta no Capítulo 1), cujo objetivo é mostrar que esse experimento pode explorar conceitos quantitativos (o amperímetro não foi usado na atividade).

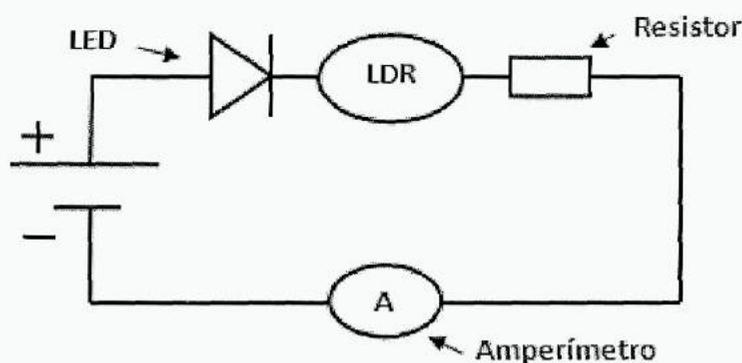


Figura 12 – O Experimento do Efeito Fotoelétrico

Como podemos ver, o LED é ligado em série com o LDR, com o resistor e com o amperímetro. Como o LED é um diodo emissor de luz, ele vai retificar a corrente, ou seja, permitindo que ela passe somente em um sentido. Então, deve-se ter atenção quando conectá-lo ao circuito para que a polarização esteja correta.

Quando o LDR for atingido pela fonte de luz (no caso, luz do sol) o LED irá acender. Porém, quando impedimos que a luz chegue ao LDR com a nossa mão, vemos que a intensidade da luz do LED diminui, pois, a resistência no LDR fica

elevada, conseqüentemente, diminuindo a corrente elétrica no circuito. O resistor está presente no circuito para evitar danos no LDR e no LED pela corrente elétrica.

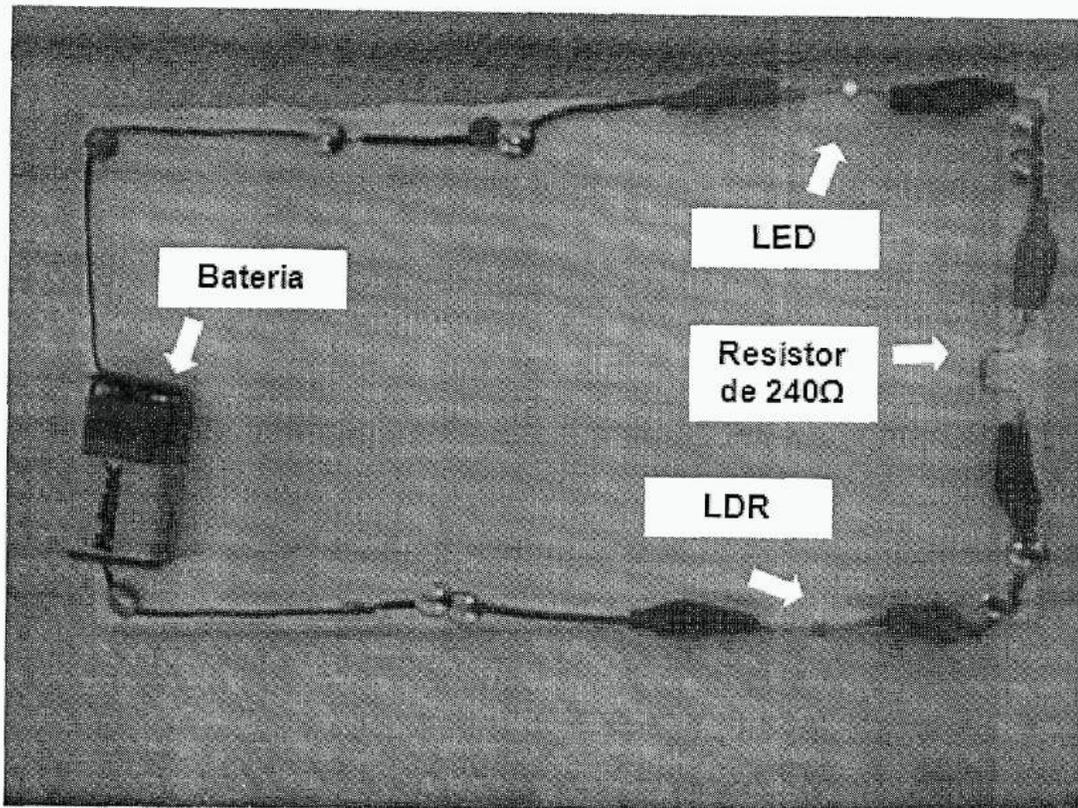


Figura 13 – Foto do Experimento do Efeito Fotoelétrico

O funcionamento do Experimento do Poste de Luz (Figuras 14, 15 e 16) é um pouco mais complexo em comparação com o Experimento do Efeito Fotoelétrico.

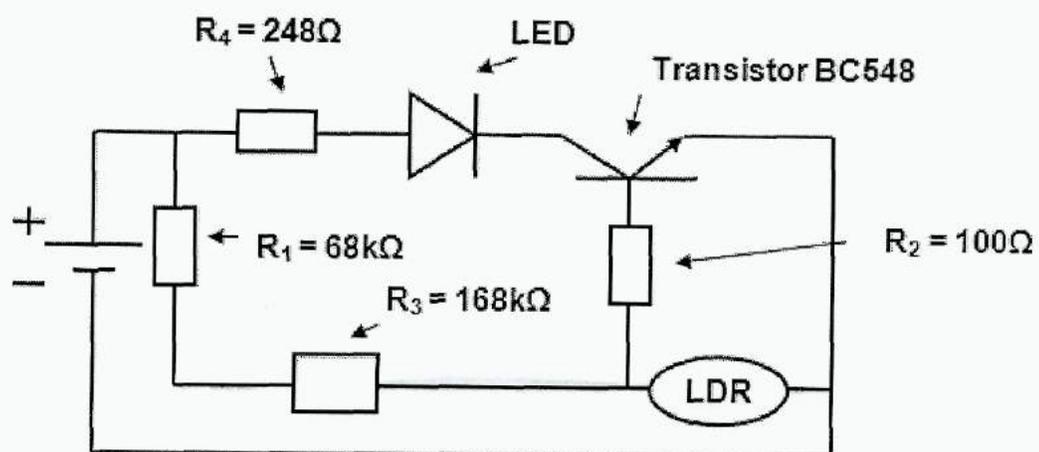


Figura 14 – O Experimento do Poste de Luz

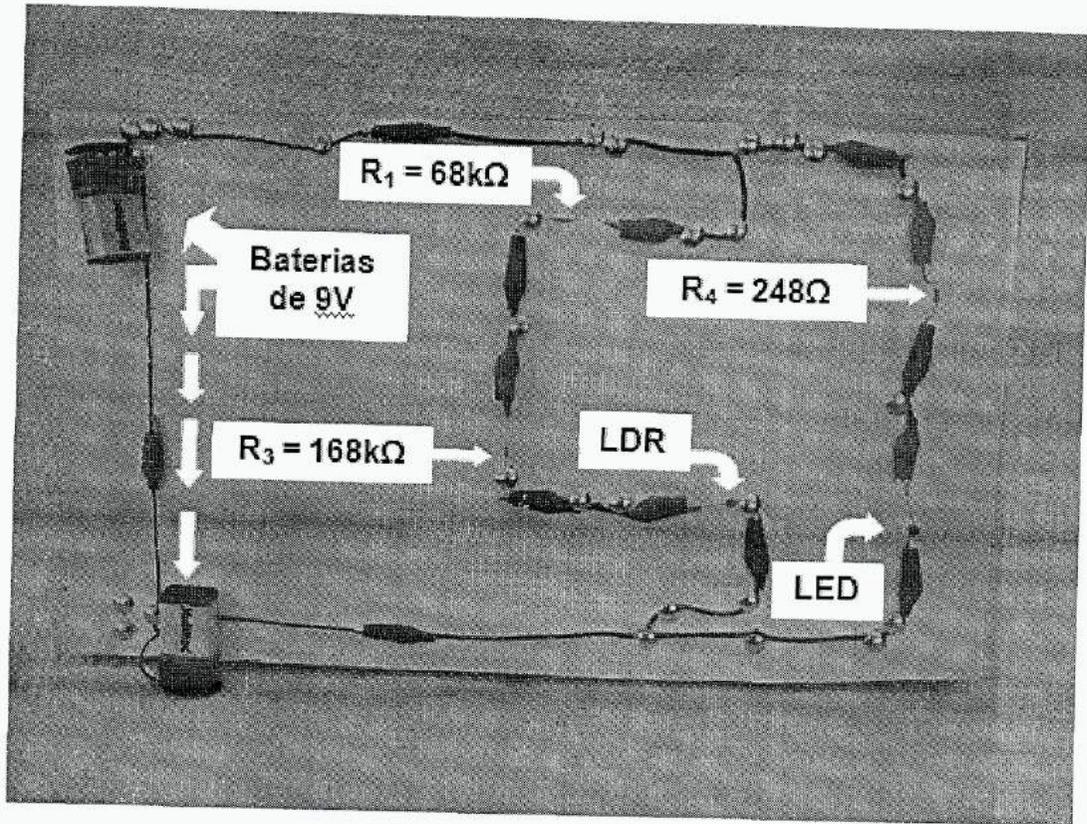


Figura 15 – Experimento do Poste de Luz

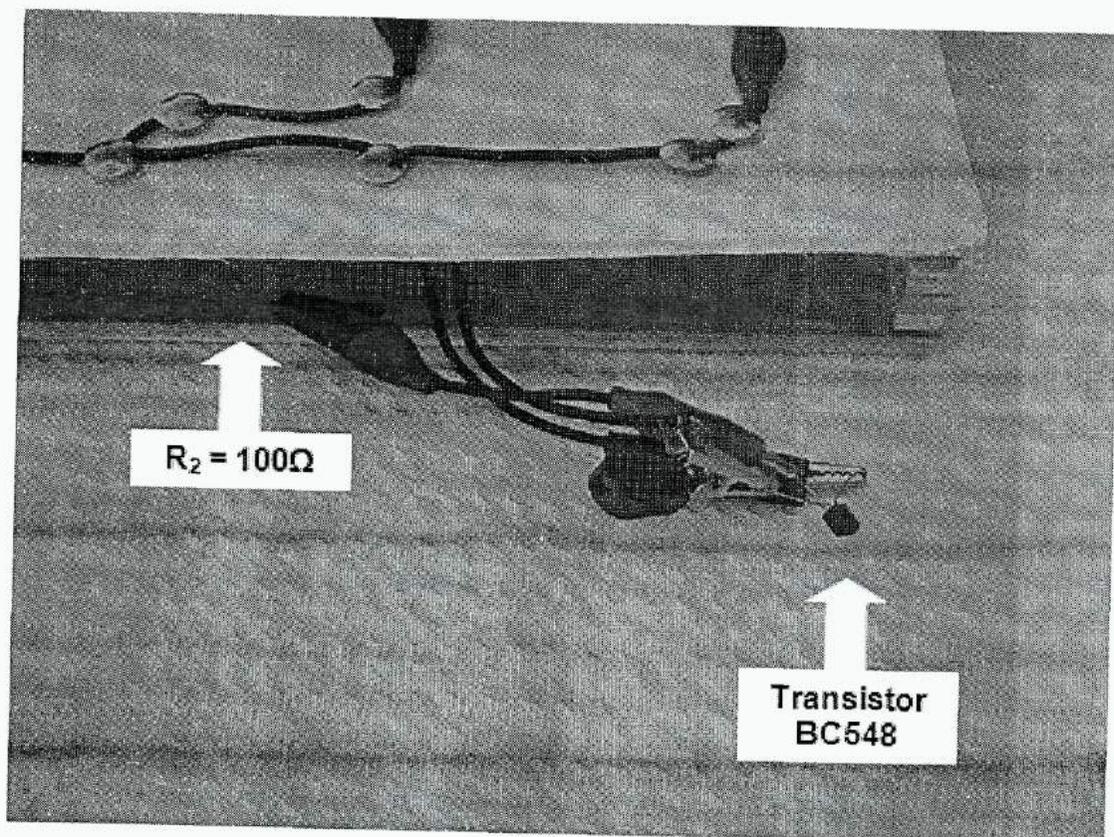


Figura 16 – Transistor e resistor temporariamente oculto aos alunos

Observe que o transistor está fazendo o papel de divisor de tensão do circuito (como foi explicado no Capítulo 3 – 3.2.). No entanto, antes de começar a fazer as contas, vamos, primeiramente, entender a física que envolve o circuito acima.

Quando houver incidência de radiação no LDR, ele vai diminuir sua resistência, conseqüentemente, diminuindo a tensão na base do transistor ao ponto de chegar abaixo da tensão de saturação (região de corte), desativando o LED (o transistor trabalhará como uma chave aberta). Porém, quando o LDR não estiver recebendo radiação luminosa, o mesmo aumenta sua resistência e, com isso, aumentando a tensão sobre a base do transistor fazendo o mesmo operar na região de saturação, ativando o LED (como foi mencionado no Capítulo 4, a corrente elétrica será tão elevada $\{I_C \leq \beta \cdot I_B\}$ que o transistor trabalhará como uma chave fechada).

Contudo, não se pode colocar qualquer resistência no circuito para fazê-lo funcionar. Elas devem ser devidamente calculadas para que o transistor possa trabalhar tanto na região de corte como na região de saturação. Então, voltemos nossa atenção para os cálculos dos valores dos dispositivos utilizados.

Primeiramente, deve-se verificar se a resistências utilizadas no conjunto $R_1 + R_3$ acenderá o LED quando não tiver radiação luminosa incidindo no LDR. Pelo Teorema de Thevenin, a tensão sobre a base do transistor é dada por:

$$V_{SAIDA} = ((R_1 + R_3)/(R_1 + R_3 + LDR)) \cdot V_{ENTRADA} \quad (11)$$

Vale ressaltar que a corrente a ser chaveada é de 0.02A e que V_{SAIDA} deve ser **0,7V** (tensão da base-emissor – Capítulo 3), pois queremos que ele entre no estado de corte quando o LDR for atingido pela radiação. Outro fator importante é a resistência que o LDR terá quando não tiver radiação sobre ele. Esse dado pode ser determinado através da curva do LDR, no entanto, é extremamente difícil de achar essa curva (o fabricante não fornece). Para sanar esse problema, foi utilizado o mesmo valor de resistência encontrada pelo autor da referência [GUSTAVO, 2010], pois nela se encontra um experimento bastante semelhante ao utilizado na atividade (o mesmo queria que o LED apagasse quando uma lâmpada de 60W iluminasse o LDR a uma distância de 2,5m, e quando essa lâmpada apagar o LED acenderia). O autor referido chegou aos seguintes resultados: Quando a luz estivesse **acesa**, o

LDR teria uma resistência de **5kΩ**; e quando a luz estivesse **apagada**, o LDR teria uma resistência de **16kΩ**.

Continuando, vamos verificar a validade do valor do conjunto **R₁ + R₃** que será chamado de **R**. Substituindo na *Equação 11*:

$$0.7 = [16/(R + 16)].18 \rightarrow \text{Logo: } R \approx 395,43\text{k}\Omega \quad (12)$$

Note que o valor encontrado não bate com os dos resistores utilizados no circuito: **68kΩ** e **168kΩ**. Porém, isso não é um problema, é apenas uma “sobra”, pois se fizermos a conta do potencial de saída utilizando 236kΩ como **R**, teremos 1,14V que garantiria a saturação do transistor.

O próximo passo é conferir se o LED irá acender quando não houver luz incidindo no LDR. Para isso, basta fazer o seguinte:

$$V_{\text{SAIDA}} = [5/(236 + 5)].18 \rightarrow \text{Logo: } V_{\text{SAIDA}} = 0,3734\text{V} \quad (13)$$

Note que com essa tensão de saída, o transistor estará ligado enquanto existir luz incidindo no LDR. Por fim, basta conferir se os resistores que se encontram na base do transistor (**R₂**) e em série com o LED (**R₄**) estão corretos.

Para verificar o valor do resistor que está presente na base do transistor, vamos supor que enquanto o LDR estiver sendo atingido por radiação, o divisor de tensão ali formado esteja oferecendo 0.75V. Então:

$$R_2 = (V_{cc} - V_{be})/(I_c/\alpha) \quad (14)$$

onde, **V_{cc}** é a tensão de saída, **V_{be}** é a tensão entre a base e o emissor do transistor, **I_c** é a corrente que circula pelo transistor e **α** é o ganho do transistor, que adotaremos 100. Substituindo os determinados valores, teremos:

$$R_2 = (0,75 - 0,7)/(0,02 / 100) \rightarrow \text{Logo: } R_2 = 250\Omega \quad (15)$$

Note que foi posto um valor inferior a este (100Ω), mas isso não é um problema, pois esse valor de 0,75V pode ser de até 0,71V.

O resistor em série com o LED se calcula da seguinte maneira:

$$R_4 = (V_{cc} - V_{led})/I_{led} \rightarrow R_4 = (18 - 2)/(0,02) \rightarrow R_4 = 800\Omega \quad (16)$$

Como antes, o valor do resistor usado foi bastante inferior, no entanto, o funcionamento do circuito não é prejudicado pela escolha.

4.2. Os relatos da atividade

O 'Experimento do poste de luz' é um experimento de 'Demonstração Investigativa', então é aconselhável (caso seja possível) formar grupos de mínimo 5 alunos para que possa surgir discussões de idéias. No dia em que se teve a atividade, não foi possível formar grupos, pois era grande a escassez de participantes (18 alunos presentes em uma turma de 40). O relato de como ocorreu a atividade na data em questão estará fragmentada em tópicos devidamente especificados a seguir (lembrando que a metodologia usada na atividade está exposta no Capítulo 2).

- O relato da 1° etapa (Revisão e Avaliação Diagnóstica)

Antes de iniciar com as atividades investigativas, foi feita uma breve revisão sobre circuitos elétricos e seus dispositivos (lembrando que os alunos não conhecem o LDR nem o transistor). Durante a revisão, através de perguntas que o autor fazia, os alunos demonstraram ter compreendido muito bem o que foi ensinado anteriormente, não surgindo grandes dúvidas. Feito isso, deu-se início a avaliação diagnóstica (olhar no Capítulo 2 e no Anexo 2). Respostas muito interessantes sobre perguntas relacionadas com o seu dia-a-dia foram surgindo. Por exemplo:

Pergunta de N° 2

"Explique com suas palavras, porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha."

Resposta do Aluno 1

'Existe um interruptor no poste e alguém vai ligar e desligar'

Resposta do Aluno 2

'No topo do poste existe um sensor de movimento'

Resposta do Aluno 3

'A LIGHT liga e desliga as luzes pela central'

Veja que os alunos possuem opiniões bastante distintas entre eles, e até um tanto engraçadas. Porém, analisando as respostas de todos os alunos, constatou-se que um número significativo de alunos possuem conhecimentos que não diverge tanto da explicação real (muitas respostas foi idênticas a do Aluno 2).

- O relato da 2° etapa (Proposta do Problema)

Posteriormente, a questão desafio foi apresentada: *"Explique com suas palavras, porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha"*. Note que a questão a ser compreendida é a mesma posta na avaliação diagnóstica. Isso nos possibilitou avaliar a evolução do pensamento do aluno, antes e depois da atividade. Ressaltando que os alunos foram avisados que antes de responder a essa questão, eles precisariam entender outros conceitos.

- O relato da 3° etapa (Realização do experimento e conclusão do efeito fotoelétrico)

O experimento do efeito fotoelétrico foi apresentado aos alunos e eles tiveram total liberdade para manuseá-los e explorá-los (*Figura 17 e Figura 18*).

Logo em seguida, a seguinte pergunta foi feita: **"Porque, quando tampamos o LDR com a mão a luz do LED diminui?"**. Inicia-se a parte mais importante do experimento, pois é onde o aluno começa a investigar as possíveis causas do fenômeno. Para tanto, o autor do trabalho ajudou fazendo analogias (ilustrações); interagindo com os alunos propondo desafios: *"eu quero que vocês me falem o que*

ocorrerá se eu...”; trabalhou com método indutivo convidando os alunos a organizar os pensamentos para melhor entendimento do fenômeno; mostrando os dispositivos eletrônicos (juntamente com o experimento) e deixando circular o material entre os alunos; analisou a validade das hipóteses que surgiam. Lembrando que essas orientações não atrapalharam o processo de investigação do aluno, pois, o autor não forneceu a resposta do problema proposto, pelo contrário, incentivou os mesmo a buscá-la.

Através destas orientações, os alunos, rapidamente, conseguiram entender que se a luz incidir no LDR ocorrerá um aumento de corrente elétrica no circuito. O grande desafio do autor era mostrar como ocorre esse efeito internamente no LDR.

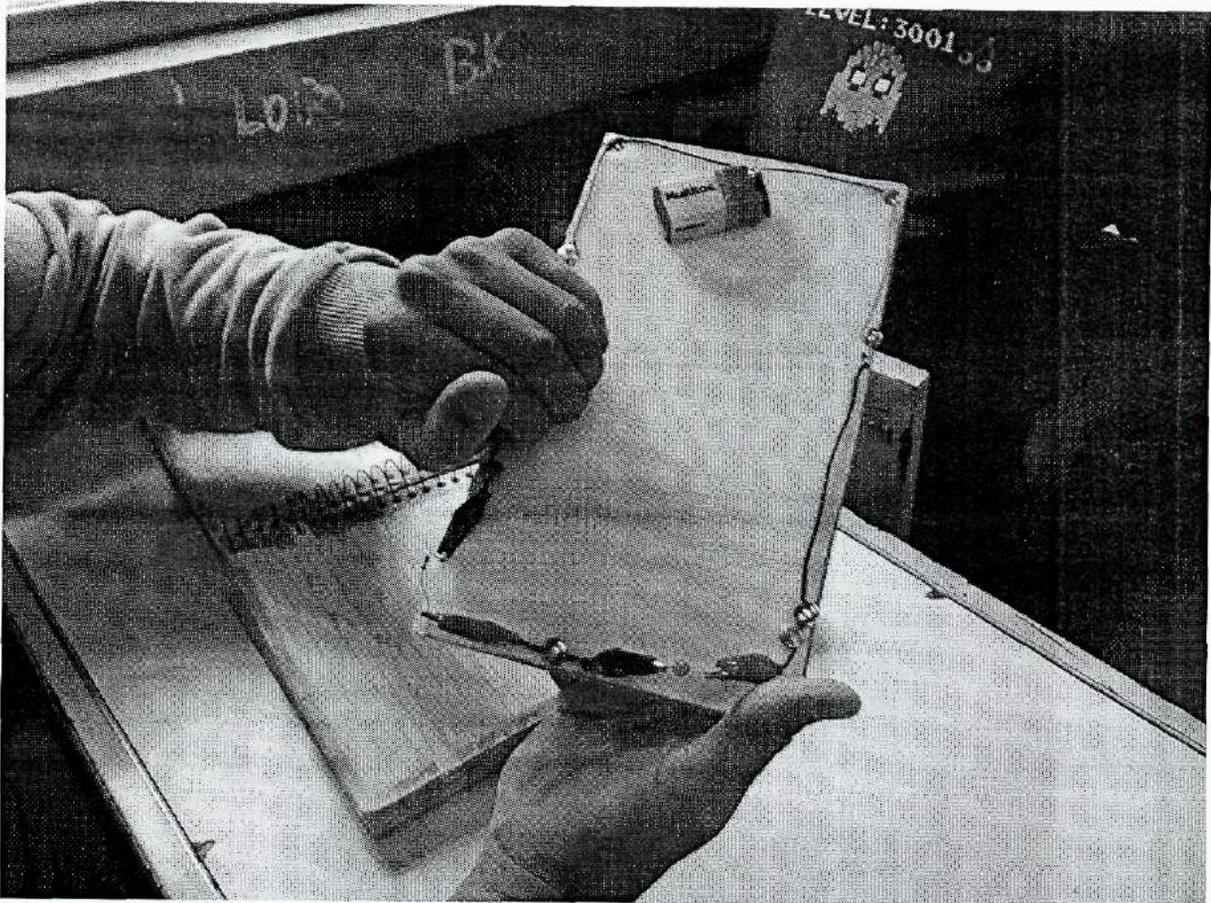


Figura 17 – Alunos tendo total liberdade para manusear o Experimento do Efeito Fotoelétrico

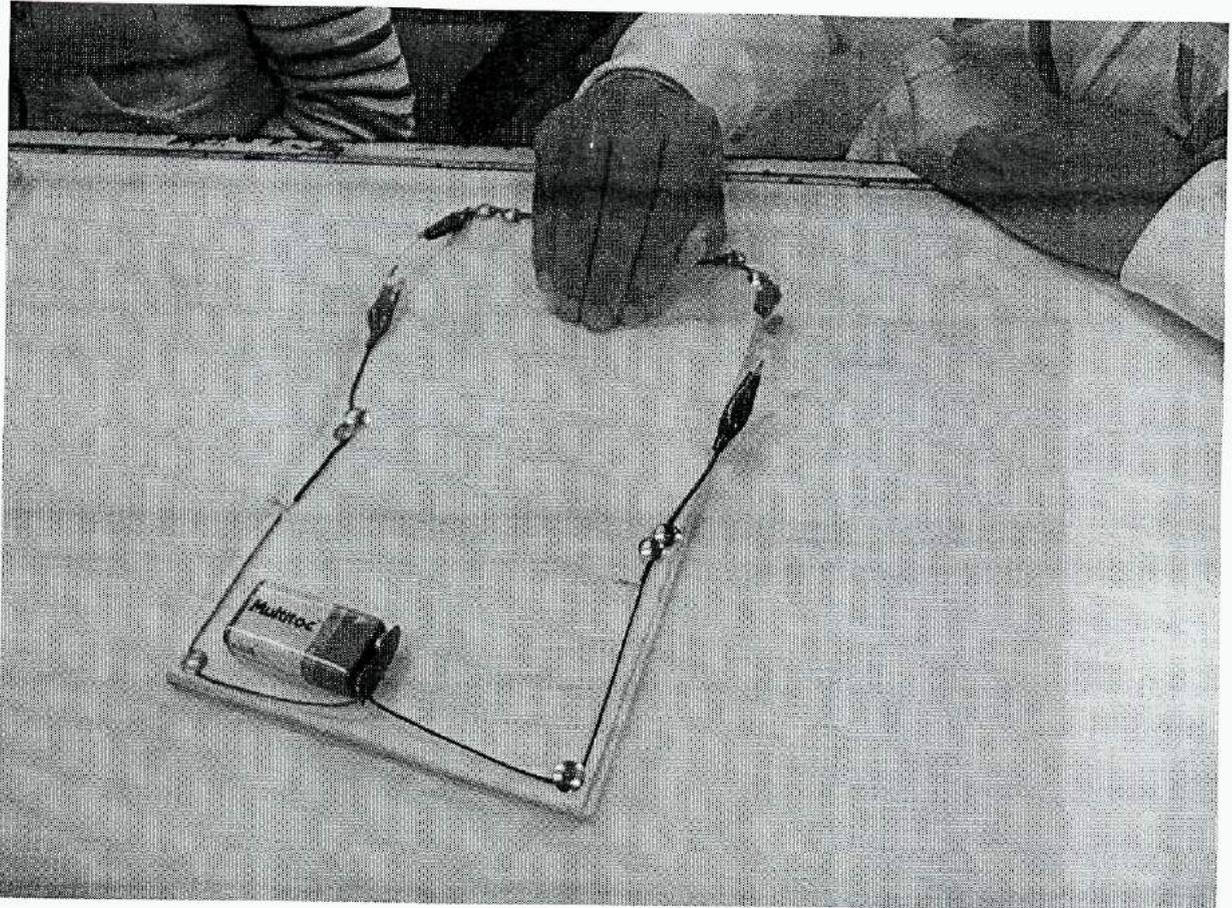


Figura 18 – Alunos tendo total liberdade para manusear o Experimento do Efeito Fotoelétrico

Para tanto, foi desenhado o seguinte esquema no quadro-negro (Figura 19) e, através do método indutivo, o autor propôs perguntas desafiadoras sobre a física que estava ocorrendo e como a mesma poderia explicar o fenômeno em questão.

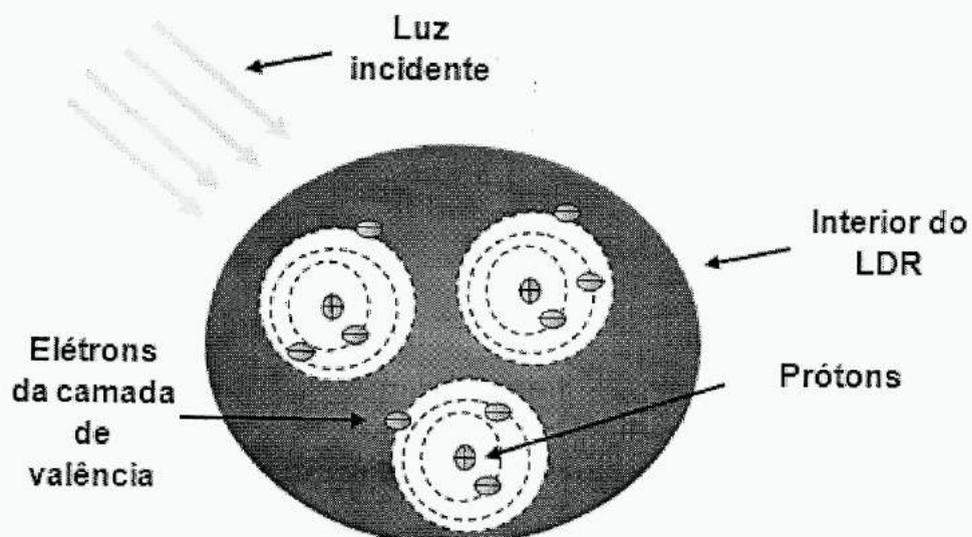


Figura 19 – Esquema do interior de um LDR utilizado no dia da atividade

Foi uma experiência bastante enriquecedora, pois, os alunos refletiam e debatiam as possíveis causas do fenômeno apresentado enquanto podiam manipular a física (experimento) em suas mãos.

Como exemplo, foi feita a seguinte pergunta: **“Quando a luz ‘bate’ nos átomos que estão dentro do LDR, o que acontece?”**. Diversas hipóteses foram feitas para poder responde a mesma, como:

Resposta do Aluno 4

‘A luz bate nos átomos fica dentro do mesmo’

Resposta do Aluno 5

‘A Luz bate nos elétrons que estão no presente nos átomos do LDR’

Resposta do Aluno 6

‘A luz bate nos elétrons da corrente elétrica ajudando-os a se locomover pelo LDR’

Todas as hipóteses fisicamente incorretas feitas pelos alunos foram debatidas pelo autor através de questionamentos que os levavam a refletir sobre sua validade.

Essa parte da atividade foi bastante demorada (em torno de 30 minutos), porém, a mais produtiva em termos de aprendizado em física e em trabalho científico. A atividade termina quando é definido o fenômeno do efeito fotoelétrico da seguinte maneira: **“Quando a luz incide nos elétrons que estão na camada de valência dos átomos presentes no LDR, os mesmos absorvem essa luz que transfere energia o suficiente para passá-los para a camada de condução, libertando-os da atração do núcleo, diminuindo assim a resistência no LDR e, conseqüentemente, permitindo a passagem da corrente elétrica pelo circuito.”**

Note que não foi mencionada a quantização da luz e nem o nome fóton foi citado na definição acima (Capítulo 3). Isso ocorreu por não haver tempo o suficiente para trabalhar com calma toda a física em questão (40 minutos de atividade), então, para melhor entendimento do assunto, o autor priorizou alguns conceitos e deixou

outros para um momento mais adequado (foi dada na aula seguinte pela Professora da turma).

E assim, termina a primeira parte experimental da atividade. O termo 'bate' (usado na pergunta feita no início da desta etapa) foi usado somente para facilitar o raciocínio do aluno, no entanto, esse termo foi corrigido posteriormente (definição acima).

- O experimento do poste de luz

Então, a segunda atividade experimental se inicia: "O experimento do poste de luz" (Figura 20). Como já foi mencionado, essa parte tem como objetivo levar a física teórica dada em sala de aula para fora da mesma, mostrando sua utilidade no nosso cotidiano.

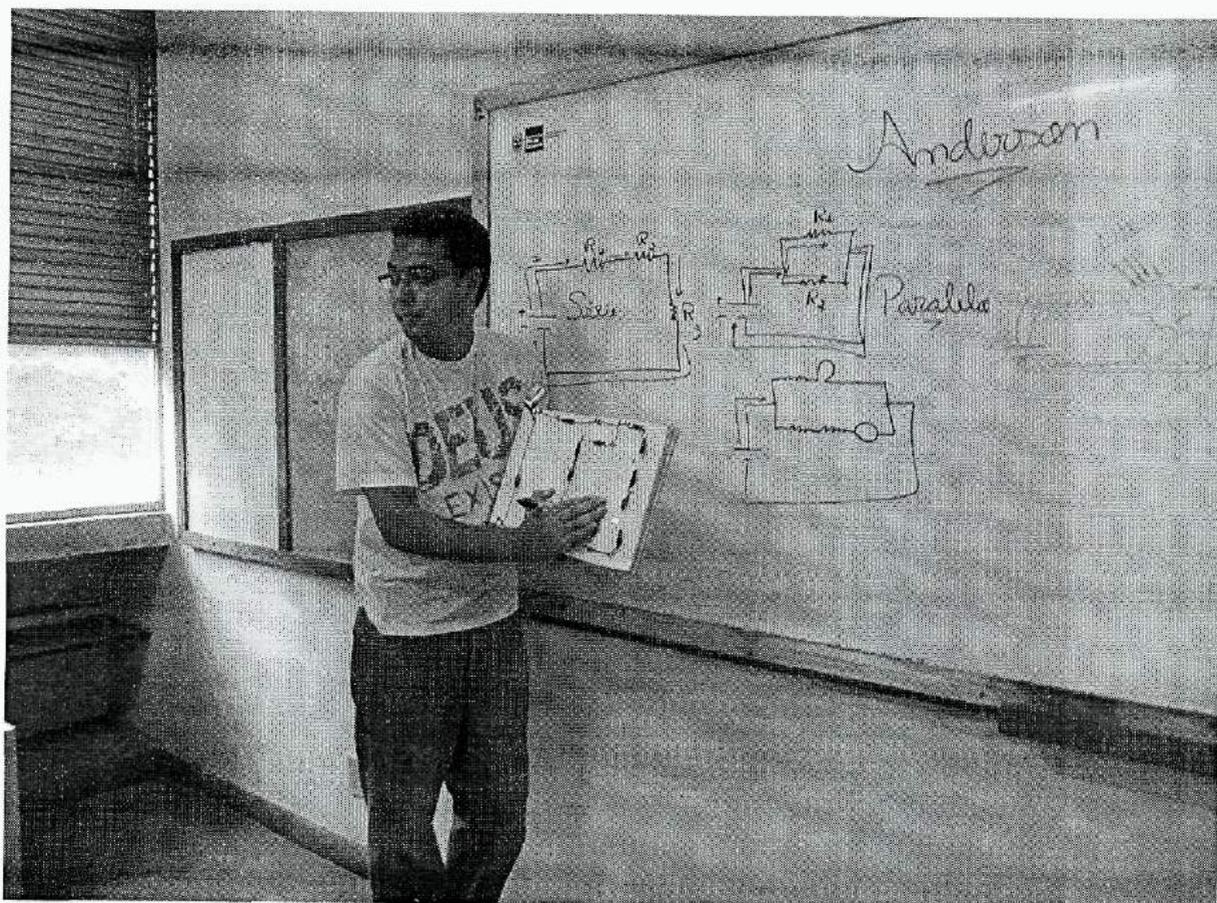


Figura 20 – Experimento do Poste de luz

Então, o autor demonstrou o circuito e em seguida perguntou: “*Este circuito está em série ou em paralelo?*” (Lembrando que o transistor está inicialmente escondido). Esta pergunta, aparentemente simples, possui grande importância na construção do raciocínio do aluno, pois no ‘Experimento do efeito fotoelétrico’ o circuito estava em série e, logicamente, a corrente elétrica é a mesma em todo o circuito. Já nesse caso, o esquema está em paralelo, sendo assim, a corrente se separa na bifurcação do circuito. A grande ‘jogada’ dessa atividade é a seguinte: Como o aluno não sabe da existência do transistor, ele vê o circuito da seguinte maneira:

Com isso, ele pensará: “**Quando a luz bater no LDR, a sua resistência cairá e formará um curto no circuito, desativando o LED. Já quando não houver a luz no LDR, a sua resistência será tão grande que toda a corrente elétrica passará pelo LED, acionando-o**”. E foi que o realmente aconteceu! Isso é um grande avanço na forma de pensar do aluno, pois notou-se claramente que os mesmos compreenderam perfeitamente o funcionamento do LDR e da corrente elétrica no circuito. Com isso, a seguinte pergunta foi feita: “**Qual tecnologia presente no nosso cotidiano utiliza um efeito parecido com este?**”. Surgiram diversas sugestões um tanto curiosas e até engraçadas:

Resposta do Aluno 7

‘Máquina de lavar’

Resposta do Aluno 8

‘Chuveiro elétrico’

Resposta do Aluno 9

‘Portas de shopping’

Após o autor fazer algumas analogias, os alunos descobriram que era o poste público que trabalhava dessa forma. Os mesmos ficaram muito surpresos com a descoberta, e até mais entusiasmados com o assunto, fazendo diversas perguntas e

questionamento sobre o funcionamento de outros dispositivos tecnológicos. E dessa forma, foi retirada a 'caixa preta' do pensamento equivocado do aluno sobre o que realmente ocorre dentro das tecnologias presentes no nosso dia-a-dia. Foi um momento de muito aprendizado e descoberta.

Após, ter ocorrido todos os fatos vistos em tela, o autor mostrou o transistor que estava por 'baixo dos panos', e ressaltou que o mesmo só amplificaria a física visual (o liga e desliga do LED) e que sem ele não conseguiríamos perceber o que está ocorrendo. Também mostrou que o poste de luz público não trabalha exatamente dessa forma, mais de um jeito bastante semelhante, tendo pequenas diferenças.

E assim, termina a atividade de investigação. Durante toda a atividade os alunos foram avaliados através dos questionamentos feitos pelo autor e também pelo entusiasmo apresentado pelos alunos durante a execução da atividade. No entanto, ainda falta responder a pergunta inicial.

- O relato da 4ª etapa (Resposta a questão inicial)

Além da pergunta inicial, foram feitas outras perguntas com o intuito de explorar mais o aprendizado dos alunos (olhar o Anexo 2). Segue abaixo algumas das respostas registradas pelos alunos:

Pergunta de N° 2

"Você deve ter notado que quando incidimos luz no LDR ocorre um aumento de corrente elétrica no circuito. Explique este fenômeno."

Resposta do Aluno 10

'Ocorre um fator chamado FOTOELÉTRICO, que ocorre porque, com a entrada da luz que bate nos elétrons e o dão energia para se locomover por todo o circuito'

Resposta do Aluno 11

'Porque quando incidimos luz no LDR os elétrons se separam dos prótons ocorrendo a corrente elétrica, esse fenômeno é chamado fotoelétrico'

Resposta do Aluno 12

'Quando a luz incide no LDR os elétrons se movimentam formando uma corrente elétrica e fazendo com que a luz acenda, quando bloqueamos a passagem da luz acontece uma resistência'

Resposta do Aluno 13

'Porque nós incidimos a luz solar no circuito fotoelétrico, fazendo com que os elétrons se movam gerando a corrente elétrica'

Foram somente expostas estas quatro respostas, pois elas abrangem todos os possíveis resultados apresentados pelos alunos.

Pela resposta do **Aluno 10** e do **Aluno 11**, nota-se um bom entendimento do fenômeno do efeito fotoelétrico, porém, com um pensamento um tanto incompleto. Vale notar que o termo 'energia' está exposto na resposta do **Aluno 10**. Isso é um fator importante, pois o mesmo trata a luz como um transportador de energia. Já as resposta dos alunos **12** e **13**, se apresentam com uma escrita e com um pensamento bastante confuso. É provável que esses alunos tenham entendido o fenômeno do efeito fotoelétrico durante a atividade, porém, não conseguiram organizar os pensamentos no momento de passá-los para a folha de papel.

Pergunta de N° 3

"Porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha? Explique se apoiando em conceitos físicos tiradas da experiência feita em sala de aula."

Resposta do Aluno 14

'Por que a luz do sol incide no LDR assim mantendo ela apagada. Com a luz não tem corrente elétrica e sem a luz há corrente elétrica'

Resposta do Aluno 15

'Porque quando há luz solar não tem corrente elétrica e quando não há luz solar tem corrente elétrica'

Resposta do Aluno 16

'Porque a resistência aumenta dificultando a passagem da eletricidade'

Resposta do Aluno 17

'Por que a luz só acende quando não há luz. Quando está de dia há uma resistência muito grande. E de noite a falta de luz faz com que a luz acenda'

Pela resposta dos alunos **14** e **15**, vê-se que ambos deram a seguinte explicação para o aumento da corrente elétrica no circuito: a incidência da luz no dispositivo. Isso é um fato bastante importante, pois demonstra que ambos conseguem compreender a formação de corrente elétrica através da energia luminosa. Note também, que a explicação é centrada puramente em argumentos científicos, contudo, possuindo um pensamento um tanto desorganizado. Já a resposta do **Aluno 17** relaciona a incidência da luz com o aumento na resistência do circuito. É muito provável que esse aluno pretendia explicar o funcionamento do poste público utilizando o que ocorre no interior do LDR, porém, teve problemas em organizar os pensamentos. Por fim, o **Aluno 16** (em torno de 5 alunos apresentaram respostas muito parecidas a esta!) aparentemente não conseguiu compreender o que realmente ocorre no mecanismo estudado ou teve bastante dificuldade para expressar em palavras o que realmente aconteceu.

Existia outra pergunta (pergunta de número 1, Anexo 2), porém, ela só pede para desenhar o esquema dos circuitos elétricos. Os alunos fizeram-na rapidamente, pois, como eles estavam manuseando os experimentos, bastava olhar e desenhar. Então, todos fizeram corretamente e não se faz necessário expor aqui.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Com todos esses fatos vistos em tela, esperamos ter mostrado com este trabalho como a física moderna (introdução) pode ser rica em conteúdo, inserindo o aluno em um mundo no qual o mesmo pode explicar centrado em fundamentos científicos. É interessante notar o quão é impressionante o resultado de uma atividade investigativa em sala de aula: muita aprendizagem e discussão de idéias por parte dos alunos e do professor. Na atividade, todos (incluindo o professor) eram protagonistas da peça. Todos estavam demonstrando interesse em participar da atividade. Todos, de alguma forma, aprenderam!

No entanto, ficou faltando preencher algumas lacunas, como: trabalhar a luz como pacotes de energia. Contudo, isso pode ser facilmente resolvido.

Essa atividade vem com o propósito de mostrar que é possível inserir a física moderna no ensino médio mostrando como funcionam as tecnologias que circundam nossos alunos. Não é uma tarefa fácil, mas, em pleno século XXI, a mesma se faz necessária.

REFERÊNCIAS

- CIENTIFICAS, Dicionário de Biografias editora 2010

- ALVES, Luiz Felipe Medeiros. ***Sobre Raios Catódicos, Aula de aceitação do Prêmio Nobel.*** 28 de Maio de 1906.

- ANDRADE, Fabíola Fernandes; ALQUINO, Francisco José Alves. ***Diodos e Transistores Bipolares: Teoria e Práticas de Laboratório.*** Fortaleza, 2010.

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

- GUSTAVO, Erlich. ***Blog destinado a publicação de projetos simples e tutoriais. 2010.*** Disponível em <http://eletronicaerlich.blogspot.com.br/2010/05/ldr-e-suas-utilidades.html>. Acesso em: 10 Jan. 2013.

- MARTINS, André Ferreira P. (Org.). ***Física ainda é cultura?*** 1 ed. São Paulo, 2009. Cap. 1.

- NUSSENZVEIG, H. Moysés. ***Curso de Física Básica. Óptica, Relatividade, Física Quântica.*** 1 ed. São Paulo, 1998. V. 4.

- PIETROCOLA, M. *et al.* ***Física em contextos: pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria.*** 1. ed. São Paulo, v. 3.

- SILVIA, F. L. ***Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico.*** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 313-324, ago. 2012.

- STACHEL, John, ***Cinco artigos que mudaram a face da física.: O ano Miraculoso de Einstein.*** ed. Rio de Janeiro, 1998.

ANEXO 1

Material do professor

Efeito fotoelétrico

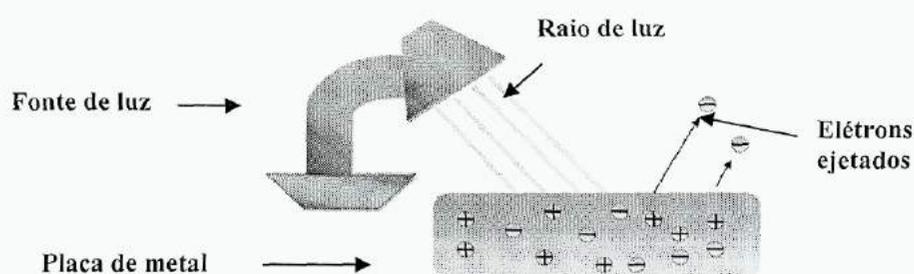
❖ *Objetivo da experiência*

Mostrar o efeito fotoelétrico através de dois experimentos de baixo custo que envolve o cotidiano do aluno e inseri-lo em uma prática de investigação, onde o mesmo, irá desde o início da atividade, investigar as causas dos fenômenos observados com materiais que estarão disponíveis.

❖ *Uma breve teoria*

Efeito Fotoelétrico

É a emissão de elétrons a partir da superfície de um metal, quando a luz nela incide.



Quando os elétrons são ejetados para fora da superfície de metal, eles adquirem uma energia cinética, onde podemos expressar a mesma com a seguinte expressão matemática:

$$K_{MAX} = e \cdot V_0$$

e = Carga do elétron
 V_0 = Potencial de corte

onde V_0 é o potencial que cessa a fotocorrente no circuito.

Se pensarmos que a energia é emitida em forma discreta e não contínua (de acordo com Planck) e em pacotes de nhf , onde: n é um número inteiro, h é a constante de Planck e f é a frequência da onda, chegaremos a idéia de Einstein, que enuncia a existência do fóton, como uma entidade que carregadora de energia ($E = hf$) que ao incidir sobre o corpo passaria essa energia para o mesmo. Pensando na superfície de um metal, um elétron absorveria essa energia vinda do fóton e sairia com energia cinética (K) igual a diferença entre essa energia absorvida com a energia de atração dos átomos do metal (W).

$$K = hf - W$$

e para um elétron que conseguiria sair com energia cinética máxima, temos:

$$K_{MAX} = hf - W_0$$

onde, o último termo da equação acima, é a energia característica do metal, chama de "*Função Trabalho*", que é a energia mínima que o elétron precisa para atravessar a superfície do metal.

Como funciona o LDR (Light Dependent Resistor)

A tradução para o português de LDR é Resistor Dependente de Luz ou simplesmente fotoresistor. Ele possui a interessante característica de ser um componente eletrônico cuja resistência elétrica diminui quando sobre ele incide energia luminosa.

Quando a resistência do LDR diminui por ser iluminado, a um deslocamento de cargas negativas da camada de valência para a camada de condução, ou seja, mais distantes do núcleo, aumentando o número de cargas positivas que conseqüentemente diminui a resistência do LDR. Com isso, os elétrons deslocados adquirem mais energia, aumentando seu nível ao ponto de ficarem fracamente presos ao núcleo. Ele será de grande importância para o entendimento do efeito fotoelétrico no experimento.

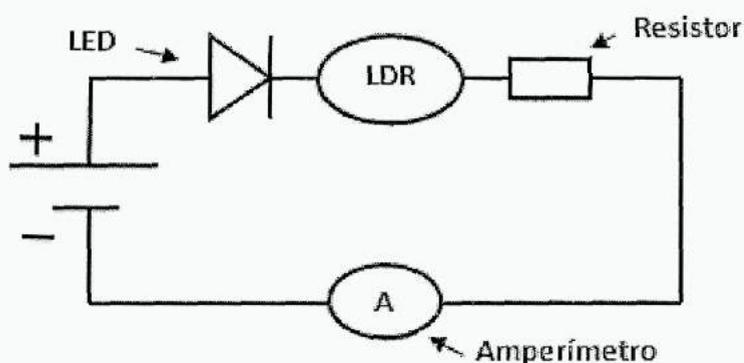
❖ *O experimento*

É aconselhável que cada grupo tenha no mínimo 5 alunos para que possa surgir discussões de idéias

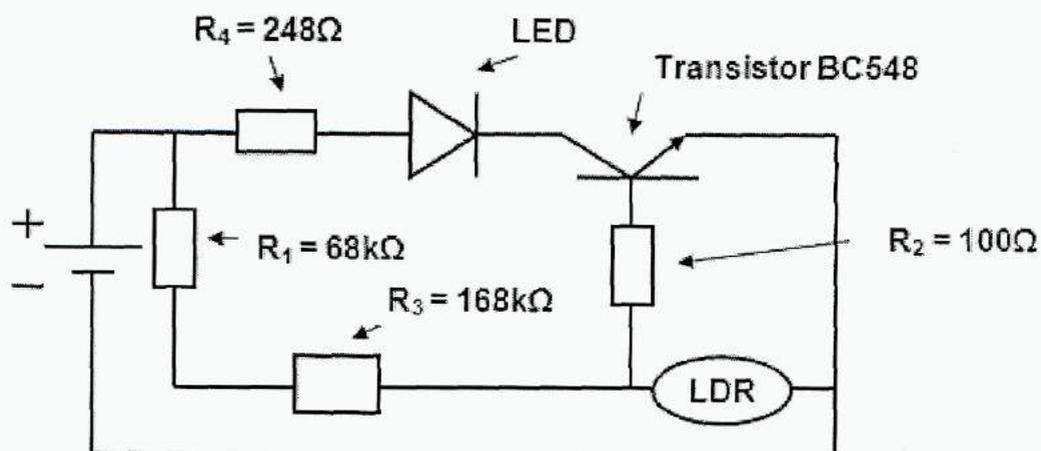
Para que ocorra a atividade, utilizaremos de 2 circuitos: o primeiro ficará com o professor, para uma atividade demonstrativa, e o outro com cada grupo de alunos para a atividade de investigação. Segue abaixo a lista de todos os materiais necessários para a realização do experimento do poste de luz:

Material	Quantidade
Bateria de 9V	6 unidades
LDR (tamanho pequeno)	5 unidades
LED (de qualquer cor)	5 unidades
Resistor de 240Ω	5 unidades
Resistor de $68k\Omega$ e $168k\Omega$	1 unidade de cada
Garras de jacaré	38 unidades
Suporte para bateria	6 unidades

Como foi dito, cada grupo ganhará 1 kit experimental. Cada kit é composto de 1 bateria; 1 suporte de bateria; 1 LDR; 6 garras de jacaré; 1 resistor e 1 LED. Já o circuito utilizado pelo professor, é composto de 1 bateria; 1 suporte de bateria; 1 LDR; 14 garras de jacaré; 1 resistor de cada tipo (ou seja, um de 240Ω , um de $68k\Omega$ e um de $168k\Omega$) e 1 LED. Seguem nas figuras a seguir os esquemas dos circuitos que serão usados pelos alunos e pelo professor, respectivamente:



OBS: Nesse esquema aparece um amperímetro. O mesmo está exposto somente para dizer que esse experimento pode explorar outros conceitos!



A plataforma do nosso circuito foi um pedaço de madeira lisa com PVC branco na parte superior. No entanto, pode-se por qualquer tipo de suporte, até mesmo papelão. Vale lembrar que os experimentos possuem efeitos contrários: no do aluno: o LED acendo quando chega luz no LDR, já a do professor, o LED acendo quando não chega luz no LDR.

Metodologias das atividades experimentais

Os procedimentos das atividades estão divididas em etapas que estão devidamente especificadas em cada experimento

1ª etapa: Motivação

Objetivo: Verificar o que o aluno traz do mundo para dentro da sala de aula.

- 1) As atuais portas dos Shopping Center se abrem quando uma pessoa se aproxima da mesma. Você saberia dizer o que faz a porta abrir?
- 2) Explique com suas palavras, porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha.
- 3) O elevador só fecha as portas se não existir objetos no local de fechamento da mesma. Tente explicar esse fato.

OBS: Foram exposto 3 perguntas diagnósticas, no entanto, pode-se inserir mais questões. Fica a critério do professor!

2ª etapa: Proposta do problema

Antes que ocorra a demonstração, deve ser apresentado o problema principal aos alunos e fazer com que eles reflitam sobre as suas respostas através de questionamentos que o professor deve propor. No nosso caso, a problema será:

“Porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha?”

3ª etapa: Realização dos experimentos e conclusão do efeito fotoelétrico

O professor deve realizar o experimento dos alunos para que os mesmos possam observar o fenômeno. Com isso, lance a pergunta: *“Porque a luz do LED apaga quando colocamos a nossa mão no LDR?”* Discussões iram surgir e o professor deve estar preparado par conduzir as idéias apresentadas para a explicação física do fenômeno. Os alunos devem ter os seus experimentos em mãos para que possam manusear e observas o fenômeno e é neste momento que se deve entender o efeito fotoelétrico. O experimento do professor deve ser apresentado, complementando as conclusões feitas no primeiro momento.

4ª etapa: Questionário

OBS: *Foram exposto 3 perguntas, no entanto, pode-se inserir mais questões. Fica a critério do professor!*

- 1) Desenhe os esquemas dos circuitos que foram usados na sala de aula. De os nomes aos componentes dos circuitos.
 - 2) Você deve ter notado que quando incidimos luz no LDR ocorre um aumento de corrente elétrica no circuito. Explique este fenômeno.
 - 3) Porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha? Explique se apoiando em conceitos físicos tiradas da experiência feita em sala de aula.
-

ANEXO 2

Material do aluno

Efeito fotoelétrico

Introdução

Você já se parou para pensar como os sensores de movimentos funcionam? Como a lâmpada do poste liga sozinha a noite? Será que ela sabe que é noite e, simplesmente, ligam? Ou ainda, como as portas dos elevadores sabem se tem algum objeto no local aonde fecham? Essas e outras situações possuem características semelhantes e, nos nossos experimentos, iremos trabalhar os conceitos destes fenômenos tão presentes no nosso cotidiano.

Experimento da lâmpada do poste

- 1) Desenhe os esquemas dos circuitos que foram usados na sala de aula. De os nomes aos componentes dos circuitos.
- 2) Você deve ter notado que quando incidimos luz no LDR ocorre um aumento de corrente elétrica no circuito. Explique este fenômeno.
- 3) Porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha? Explique se apoiando em conceitos físicos tiradas da experiência feita em sala de aula.

Motivação

- 1) As atuais portas dos Shopping Center se abrem quando uma pessoa se aproxima da mesma. Você saberia dizer o que faz a porta abrir?
 - 2) Explique com suas palavras, porque durante o dia a lâmpada do poste fica apagada e a noite ela acende sozinha.
 - 3) O elevador só fecha as portas se não existir objetos no local de fechamento da mesma. Tente explicar esse fato.
-