

# Projeto de F 609

## Comunicações Ópticas



### Relatório Final Prévio

12 de junho de 2010

Aluno: Paulo Henrique Vilas Boas\*

Orientador: Prof. Dr. Edmilson José Tonelli Manganote\*\*

Coordenador da disciplina F609: Prof. Dr. *José J. Lunazzi*

**Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP**

---

\* [phvb@ifi.unicamp.br](mailto:phvb@ifi.unicamp.br)

\*\* [mangano@ifi.unicamp.br](mailto:mangano@ifi.unicamp.br)

## SUMÁRIO:

<b>1 – RESUMO.....</b>	<b>3</b>
<b>2 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 - ONDAS SONORAS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 - PERCEPÇÃO DAS ONDAS SONORAS.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 - A LUZ, AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O SOM .....</b>	<b>5</b>
<b>3 – OBJETIVO.....</b>	<b>7</b>
<b>4 – DESCRIÇÕES DO TRABALHO, MONTAGENS E DIFICULDADES...7</b>	
<b>4.1 - TRANSFORMANDO SONS EM LUZ.....</b>	<b>7</b>
<b>4.2 - DIFICULDADES ENCONTRADAS.....</b>	<b>8</b>
<b>4.3 - TRANSFORMAR A LUZ EM SONS, NOVAMENTE.....</b>	<b>8</b>
<b>5 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>6. PARECER DO ORIENTADOR.....</b>	<b>13</b>
<b>7 – AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>13</b>
<b>8 – APÊNDICE.....</b>	<b>14</b>
<b>9 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

# APRENDENDO SOBRE COMUNICAÇÕES ÓPTICAS

## 1- RESUMO

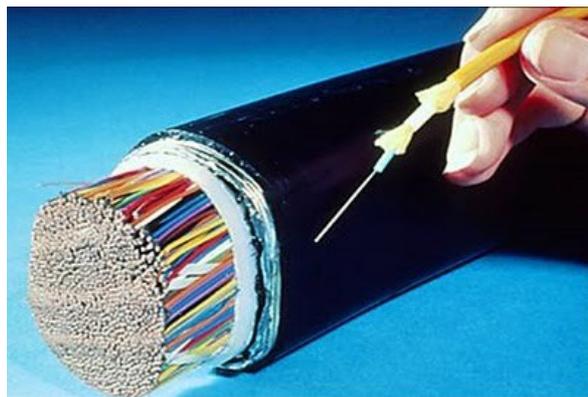
Neste trabalho é discutido um experimento muito simples, de modo a analisar o processo básico de comunicação óptica, ou seja; transformar som em luz e vice-versa. Sendo assim, pela teoria a ser aplicada, a engenhosidade, o público alvo e os materiais, nos levaram a escolher tal projeto. São também analisados alguns processos físicos que tal experimento nos proporciona, como: acústica, ondas eletromagnéticas (luz) e conceitos de eletrônica básica.

O objeto físico deste trabalho não foi uma idéia totalmente original, pois tal idéia veio do meu orientador para esta disciplina, prof. Dr. Edmilson José Tonelli Manganote, na qual preparou o experimento para que participasse da exposição "*Tão Longe, tão perto. As telecomunicações e a sociedade* - FAAP e Fundação Telefônica - De 21/03 a 23/05/10".

## 2 - INTRODUÇÃO

Quando falamos em telecomunicações estamos nos referindo a comunicações ópticas. Com o advento das fibras ópticas, as telecomunicações sofreram uma revolução, rápida e sem precedentes. Resultando em um mundo sem fronteiras e globalizado, de fato.

A questão é: como a luz passando por dentro de uma fibra óptica, pode transmitir informação? E, ainda, como isso pode ser infinitamente mais eficiente que as transmissões tradicionais, por condutores metálicos? A Fig. 1 mostra uma comparação entre as dimensões (em termos de capacidade) de um cabo usual e uma fibra óptica.



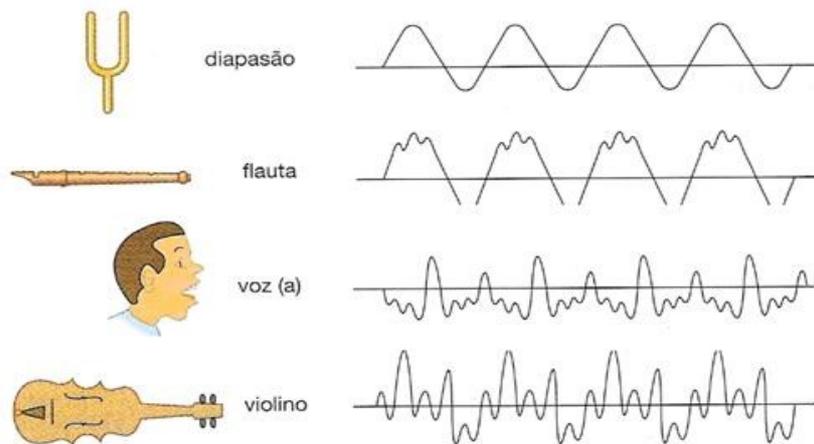
**Figura 1:** A informação que antes necessitava de um grande cabo para ser transmitida, hoje é enviada por um simples cabo óptico.

Contudo nosso objetivo, aqui, não é discutir essas questões. Mas, caminhando em direção aos princípios básicos, procuramos entender como a luz carrega informação e, utilizando um experimento bastante simples vamos observar como essa informação pode ser recuperada. Deste modo, pode-se utilizar tal experimento como aplicação didática ao ensino médio de forma a discutir os conceitos citados acima. Assim, iremos analisar algumas

propriedades físicas que tal experimento aborda, como por exemplo: propagação das ondas sonoras no ar, percepções o sonora – ouvido humano, a luz, transformar luz em som e vice-versa, etc.

## 2.1 - ONDAS SONORAS

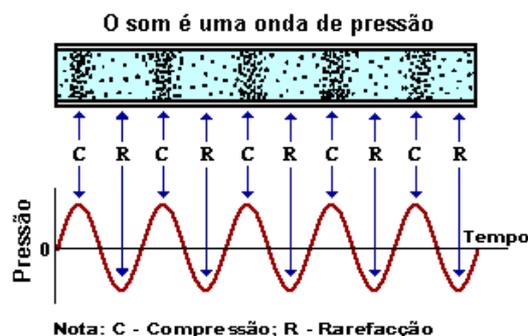
O termo onda sonora é bastante familiar a todos. O som é o que denominamos uma onda mecânica longitudinal, ou seja, precisamos de um meio  para que ela se propague. No vácuo, você não escutaria qualquer som. Mas, qual o formato dessas ondas? Na Fig.2 podemos ver uma ilustração de ondas sonoras associadas a diferentes fontes.



**Figura 2:** Diferentes formas de ondas sonoras, associadas a fontes diferentes.

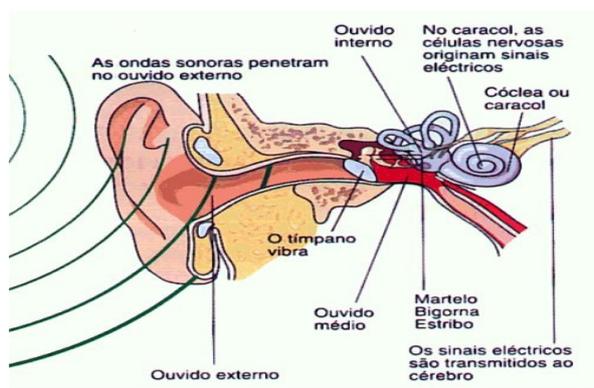
## 2.2 - PERCEPÇÕES DAS ONDAS SONORAS

As ondas sonoras produzem um efeito combinado de compressão e rarefação simultâneo que transfere energia das moléculas do ar, produzindo ondas longitudinais, nas quais as moléculas do ar se movimentam para frente e para trás, recebendo energia das moléculas mais próximas da fonte e transmitindo-a para as moléculas mais afastadas dela, até chegarem ao ouvido.



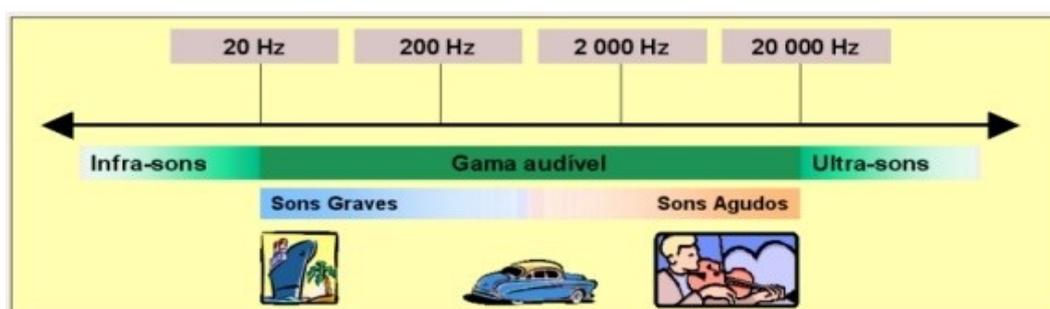
**Figura 3:** Propagação do som acima e, representação gráfica da onda senoidal associada.

No ouvido, as ondas atingem uma membrana chamada tímpano. O tímpano passa a vibrar com a mesma frequência das ondas, transmitindo ao cérebro, por impulsos elétricos, a sensação é denominada som.



**Figura 4:** Esquema do ouvido humano.

As ondas sonoras podem se propagar com diversas frequências, porém o ouvido humano é sensibilizado somente quando elas chegam a ele com frequência entre 20 Hz e 20 000 Hz, aproximadamente.



**Figura 5:** Espectro das frequências sonoras.

Quando a frequência é maior que 20 000 Hz, as ondas são ditas ultra-sônicas, e menores que 20 Hz, infra-sônicas.

As ondas infra-sônicas e ultra-sônicas não são audíveis pelo ouvido humano. As ondas infra-sônicas são produzidas, por exemplo, por um abalo sísmico. Os ultra-sons podem ser ouvidos por certos animais como morcego e o cão.

As ondas sonoras audíveis são produzidas por:

- vibração de cordas
- vibração de colunas de ar
- vibração de discos e membranas (sendo este o analisado em nosso experimento – fones de ouvido)

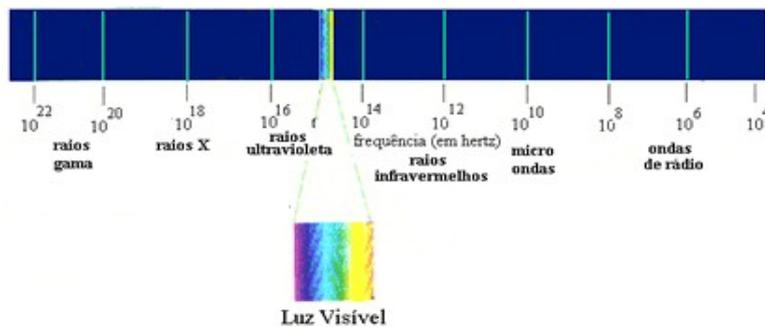
## 2. 3 - A LUZ, AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O SOM

As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela combinação dos campos magnético e elétrico que se propagam no espaço perpendicularmente um em relação ao outro e na direção de propagação da energia. James Clerk Maxwell, físico escocês, ficou conhecido por desenvolver o trabalho mais

notável na área do eletromagnetismo no século XIX. Maxwell se apoiou nas leis experimentais que foram descobertas pelos célebres cientistas Coulomb, Ampère, Faraday e deu a essas teorias uma nova visão, estruturando um conjunto de equações que resume todos os conhecimentos sobre o eletromagnetismo, as quais ficaram conhecidas como equações de Maxwell [3]- vide Apêndice A.

A importância das ondas eletromagnéticas na nossa vida é indiscutível. Elas estão presentes quando enxergamos os objetos a nossa volta, quando ligamos a TV, quando estouramos pipocas no forno de microondas e em mais uma grande gama de exemplos.

As ondas eletromagnéticas podem se manifestar de diversas formas dependendo da sua frequência de oscilação. Dessas manifestações, a mais famosa é a luz visível; que ocupa uma faixa muito pequena do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é o conjunto de todas as ondas eletromagnéticas, como está representado na Figura 6.



**Figura 6:** Espectro Eletromagnético.

Observe que, pela figura, as ondas que possuem a menor frequência de oscilação são as ondas de rádio e as de maior frequência são os raios gama. Já os comprimentos de onda agem de maneira inversa, ou seja, as ondas de rádio possuem os maiores comprimentos, enquanto que os raios gama apresentam o menor comprimento.

O som não é uma onda eletromagnética. Mas, podemos transformar o som em ondas eletromagnéticas que se propagam em um circuito, utilizando um microfone, por exemplo. O inverso também é verdade. Ou seja, podemos transformar uma onda eletromagnética em som, é o caso do alto-falante.

**ORA, SE PODEMOS TRANSFORMAR ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM SONS, E A LUZ É UMA ONDA ELETROMAGNÉTICA, PODEMOS, ENTÃO, TRANSFORMAR A LUZ EM SONS E VICE-VERSA!**

A questão é: Como?

### 3 – OBJETIVO

Esse projeto tem como objetivo principal mostrar para alunos do ensino médio, de uma maneira simples e elucidativa, a forma como ocorre o processo de comunicação óptica.

### 4 – DESCRIÇÕES DO TRABALHO, MONTAGENS E DIFICULDADES

#### 4.1 - TRANSFORMANDO SONS EM LUZ

Vamos, então, iniciar nosso experimento. Precisamos de uma saída de som (pode ser a saída para fones de ouvido das caixas de som de um PC, ou outro aparelho, rádio, etc.), um transistor BC327 (PNP), um resistor de 1K $\Omega$  e um LED de alto brilho (branco), como podemos ver na Fig. 7.



**Figura 7:** Material necessário para a conversão de som em luz.

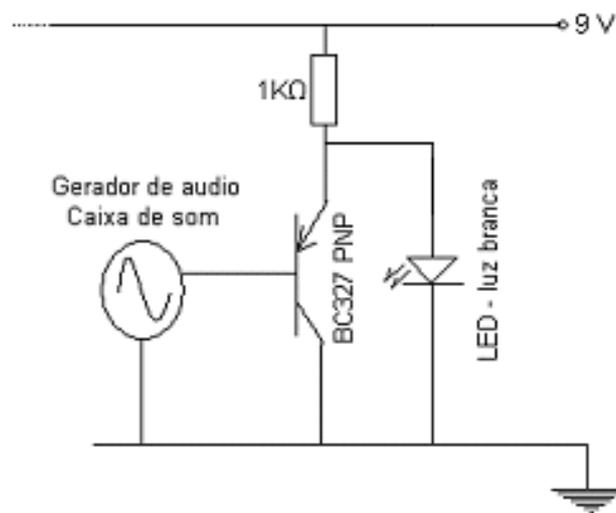
O LED é um diodo semicondutor que quando polarizado emite luz visível por isso LED (Light Emission Diode - Diodo Emissor de Luz). A luz não é monocromática (como em um laser), mas consiste de uma banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas do elétron. O processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado *eletroluminescência*. . Mais informações sobre o LED encontram-se no **Apêndice B**.

O transistor é um dispositivo ativo, portanto ele é capaz de amplificar a potência do sinal de entrada. Pelo fato de ser um dispositivo ativo, ele necessita de uma fonte de alimentação. A informação a ser transferida e/ou

utilizada como sinal de controle é aplicada na base do transistor. O transistor é um sanduíche de duas junções pn, uma de frente para a outra, formando uma sequência de junções npn ou pnp. Estas seções são chamadas de coletor, base e emissor. Mais informações sobre os transistores, vide o [Apêndice C](#).

#### 4.2 - DIFICULDADES ENCONTRADAS

Havíamos programado em utilizar um cabo conectando o LED à saída para fones de ouvido das caixas de som, diretamente. Esperávamos que o LED começasse a piscar, com frequências e intensidades diferentes, dependendo do ritmo da música que estiver tocando; mas isso não ocorreu, devido ao fato de que a tensão de entrada ser muito baixa para piscar o LED. Assim, decidimos utilizar um transistor para amplificar o sinal de entrada vindo da caixa de som. A figura abaixo mostra o esquema utilizado nesse experimento e que se adaptou bem ao que queríamos obter – fazer o LED piscar de acordo com o ritmo da música.



**Figura 8:** Esquema do circuito Emissor de luz – LED piscando no ritmo da música

#### 4.3 - TRANSFORMAR A LUZ EM SONS, NOVAMENTE.

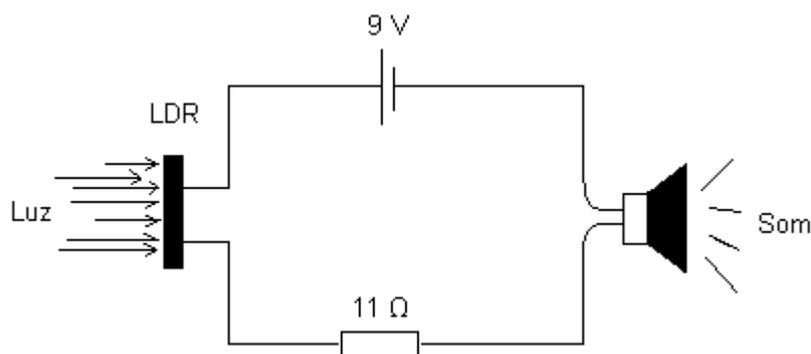
Utilizando um dispositivo chamado LDR, uma bateria de 9V e um par de fones de ouvido, como podemos ver na Figura 8.



**Figura 8:** Material necessário para a conversão luz em sons.

Mas, o que é um LDR? LDR (do inglês Light Dependent Resistor ou em português Resistor Dependente de Luz) é um tipo de resistor cuja resistência varia conforme a intensidade de radiação eletromagnética do espectro visível que incide sobre ele. Um LDR é um transdutor de entrada (sensor) que converte a luz em valores de resistência. É feito de sulfeto de cádmio (CdS) ou seleneto de cádmio (CdSe). Sua resistência diminui quando a luz é muito alta, e quando a luz é baixa, a resistência no LDR aumenta. Um multímetro pode ser usado para encontrar a resistência na escuridão ou na presença de luz intensa. Estes são os resultados típicos para um LDR padrão: a) Escuridão: resistência máxima, geralmente acima de 1M ohms e b) Luz muito brilhante: resistência mínima, aproximadamente 100 ohms.

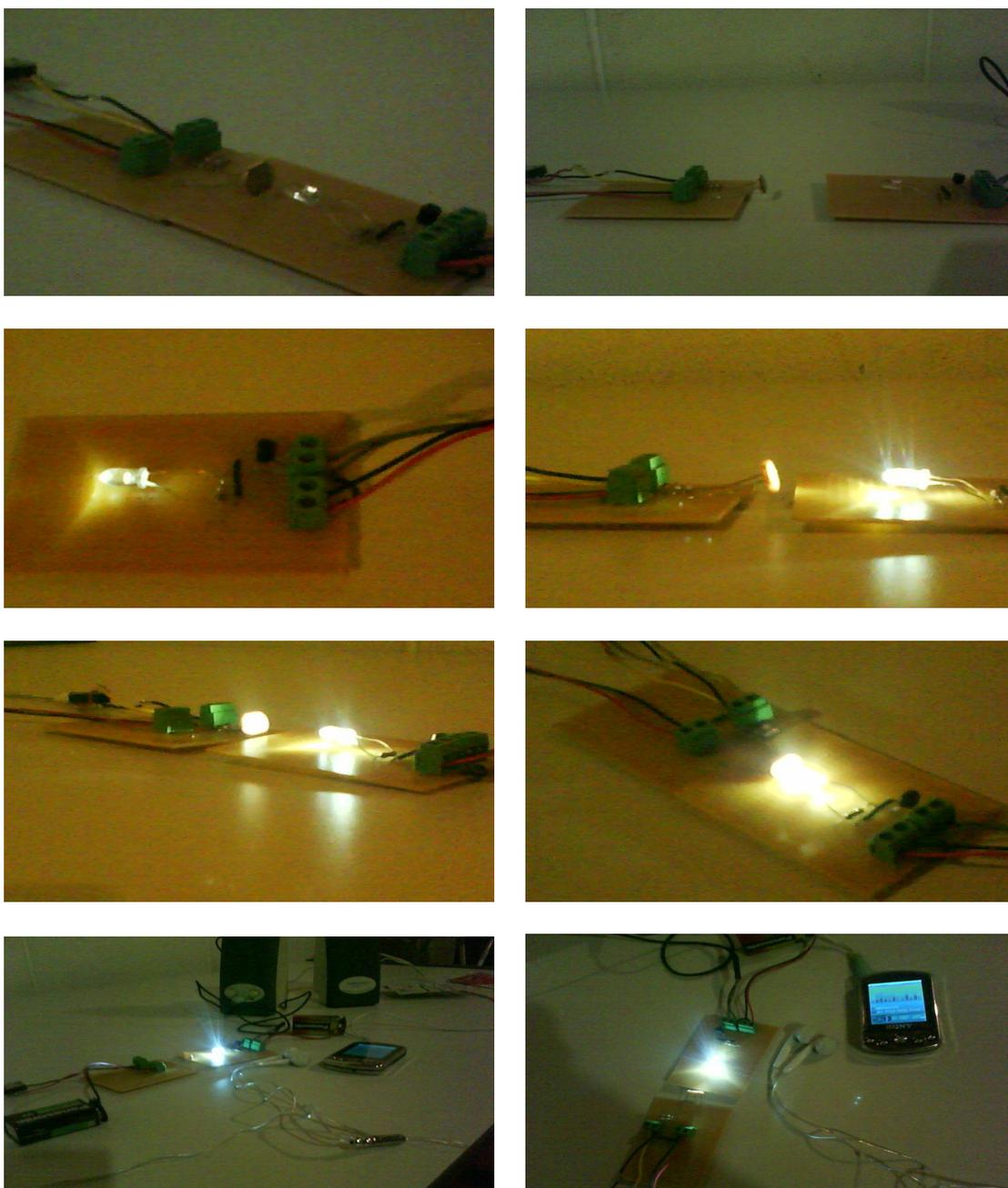
Ligamos os três componentes em série (bateria, LDR e fones) e fazemos a luz (variável) do LED incidir sobre o LDR. O que acontece? Como por milagre o som reaparece nos fones de ouvido. Obviamente, a qualidade da reprodução é baixa. Para obtermos uma boa reprodução precisaríamos sofisticar um pouco mais o nosso circuito. Mas esse não é o nosso objetivo. A Figura 9 apresenta o esquema do circuito que estamos montando, a Figura 10 nos mostra a imagem de uma montagem que você pode fazer na sua casa e a figura 11 apresenta a montagem finalizada, já em placas de circuito, do experimento.



**Figura 9:** Esquema do circuito receptor



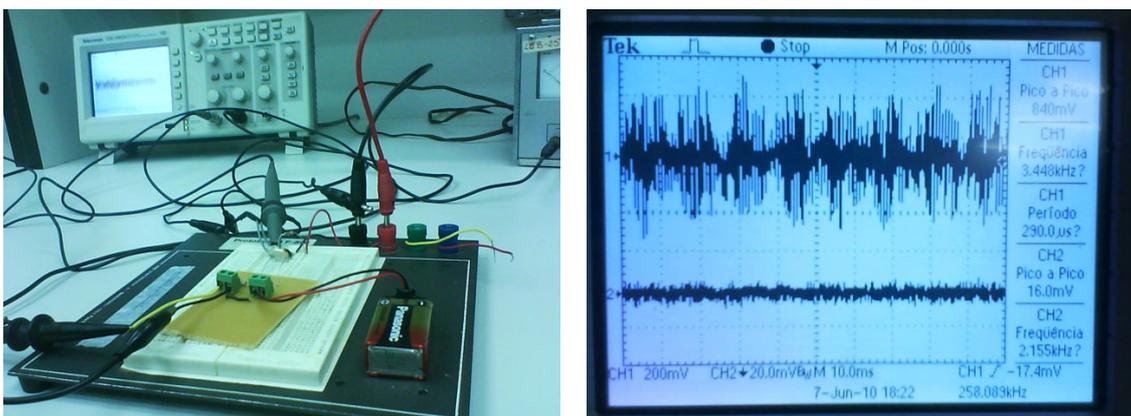
**Figura 10:** Montagem experimental em protoboard.



**Figura 11:** Montagem dos circuitos – emissor e receptor.

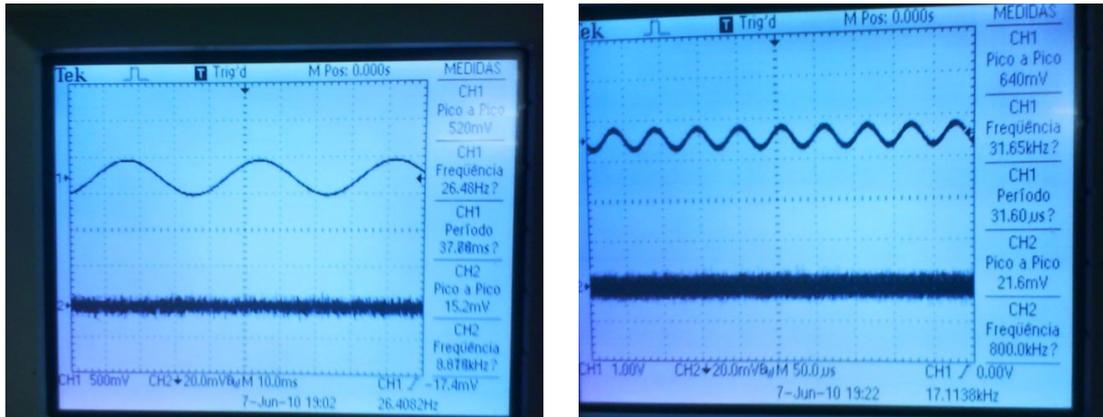
Colocamos no circuito, representado na figura 9, uma resistência equivalente de  $11\Omega$ , como precaução para não danificar a caixa de som ou fones de ouvido, quando o conectamos em série com o LDR e a bateria.

Quando o LED pisca no ritmo da música, conseqüentemente faz variar sua intensidade de luz emitida, na qual esta é incidida no LDR, fazendo-o variar sua resistência, aproximadamente, também no ritmo da música. Assim a corrente que passa pelo eletroímã do alto falante é variável de acordo com a variação da resistência do LDR, ou seja; de acordo com a intensidade da luz emitida pelo LED no ritmo da música!. A figura abaixo mostra os sinais tirados do osciloscópio para os sinais sonoros que entra na base do transistor e do alto falante/fones de ouvido, respectivamente de cima para baixo.



**Figura 12:** À esquerda – montagem do circuito. Na figura à direita, de cima para baixo - sinal sonoro que entra na base do transistor do circuito emissor e que entra no alto falante do receptor, respectivamente.

Verificamos também o ruído gerado na saída do circuito receptor (fones de ouvido). Colocando um sinal do gerador de áudio, com frequências bem definidas, na base do transistor (circuito emissor); observamos que o sinal de saída no circuito receptor apresenta ruídos, como é observado na figura 13. Isso se deve ao fato de o LDR não possuir uma “resposta” rápida de acordo com variação da intensidade da luminosa, vindo do LED, outro motivo é que a luz ambiente (do laboratório) também afeta um pouco nesse ruído, pois ela apresenta uma frequência de aproximadamente 60 Hz – padrão da frequência na rede elétrica do Brasil.



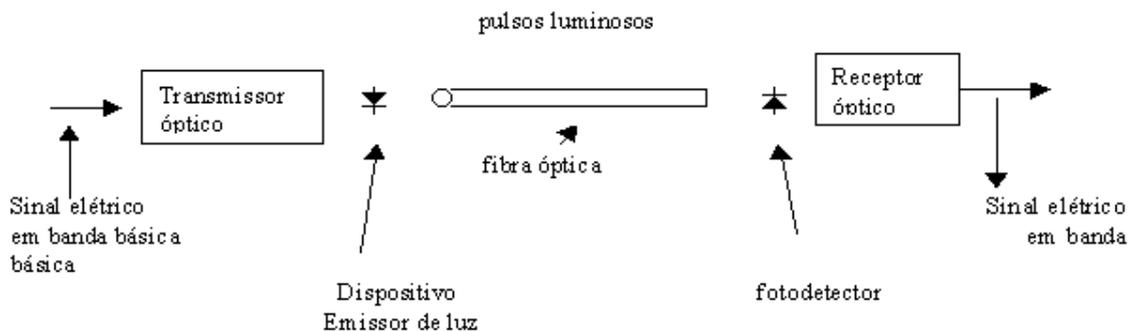
**Figura 13:** Representação para observar o ruído no circuito receptor com diferentes sinais de entrada. Acima, em cada figura, representa o sinal que entra na base do transistor, vindo do gerador de áudio. Abaixo é o sinal de saída no circuito receptor, nota-se o ruído no mesmo.

Um modo de minimizarmos tais ruídos é utilizando um foto transistor no lugar do LDR, pois esse apresenta uma recepção do sinal luminoso mais rápido que o LDR e, realizar tal experimento em um local escuro.

## 5 - CONCLUSÃO

Aprendemos que a maneira como a luz pisca, sua frequência e intensidade, transmite informações sobre o som que tentamos reproduzir. Em outras palavras, a informação sonora foi carregada pela luz, da mesma forma que os cabos telefônicos “carregam” a sua voz por distâncias incríveis. Ora transformemos os cabos telefônicos tradicionais em cabos ópticos (fibras ópticas), façamos a luz passar por dentro deles de um lugar para outro e teremos a telefonia óptica, ver Figura 13.

Obviamente que as coisas não são assim tão simples. Em um sistema real não utilizaremos LEDs, utilizaremos LASERS, fibras ópticas, centrais e circuitos de codificação e decodificação altamente complexos.



**Figura 13:** Sistema de comunicação óptica

LASER, cuja sigla em inglês significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou seja, Amplificação da Luz por Emissão Estimulada de Radiação é um dispositivo que produz radiação eletromagnética com características muito especiais: ela é monocromática, possui uma frequência muito bem definida, e é coerente, possui relações de fase bem definidas além

de ser colimada, propaga-se como um feixe. Podemos observar uma relação entre LASER e LED no **Apêndice D**.

## **6. PARECER DO ORIENTADOR**

**Meu orientador concorda com o expressado neste relatório final (versão prévia) e deu a seguinte opinião:**

O aluno demonstrou ao longo deste trabalho muito interesse e dedicação. Acredito que as dificuldades encontradas contribuíram na sua formação. Um projeto como esse, por mais simples que seja, possibilita ao aluno o contato com dificuldades práticas que a sala de aula não aborda. Ou seja, a enorme distância que, muitas vezes existe entre o quadro negro e a bancada (ex: montar um circuito de amplificação, etc.). Em suma, fiquei satisfeito com o desempenho apresentado.

## **7 - AGRADECIMENTOS**

Muitas pessoas foram importantes para a realização deste trabalho. Gostaria de manifestar meus agradecimentos ao senhor Pedro do LEI, pelo seu suporte na área de eletrônica, pois nas horas mais complicadas ele sempre se dispunha a ajudar, mesmo muito ocupado. Ao Antônio C. Costa, que certamente, sem ele, este trabalho não se desenvolveria; pois sempre estava a disposição para a utilização do laboratório de eletrônica e equipamentos. E principalmente ao meu orientador, Prof. Dr. Edmilson José Tonelli Manganote, que sempre me auxiliava nos momentos mais difíceis; sendo ele o idealizador do projeto aqui desenvolvido.

## 8 - APÊNDICE

### A: Equações de Maxwell para o eletromagnetismo

Nome	Diferencial parcial	Forma integral
Lei de Gauss:	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$	$\oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = Q_{\text{englobado}} = \int_V \rho dV$
Lei de Gauss para o magnetismo (ausência de monopolos magnéticos):	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$
Lei da indução de Faraday:	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\int_S \frac{d\mathbf{B}}{dt} \cdot d\mathbf{s}$
Lei de Ampère + extensão Maxwell:	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I_{\text{englobado}} + \frac{d\Phi_{\mathbf{D}}}{dt}$

onde:

$\rho$  é a densidade volumétrica de carga elétrica (unidade SI: coulomb por metro cúbico), não incluindo dipolos de cargas ligadas no material.

$\mathbf{B}$  é a densidade superficial de fluxo magnético (unidade SI: tesla), também chamada de indução magnética.

$\mathbf{D}$  é o campo elétrico de deslocamento ou densidade superficial de campo elétrico (unidade SI: coulomb por metro quadrado).

$\mathbf{E}$  é a intensidade de campo elétrico (unidade SI: volt por metro).

$\mathbf{H}$  é a intensidade de campo magnético (unidade SI: ampère por metro).

$\mathbf{J}$  é a densidade superficial de corrente elétrica (unidade SI: ampère por metro quadrado).

$\nabla$  é o operador gradiente que em coordenadas cartesianas pode ser escrito como  $\frac{\partial}{\partial x}\hat{\mathbf{x}} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{\mathbf{y}} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{\mathbf{z}}$

$\nabla \cdot$  é o divergente do campo vetorial (unidade SI: 1 por metro).

$\nabla \times$  é o rotacional do campo vetorial (unidade SI: 1 por metro).

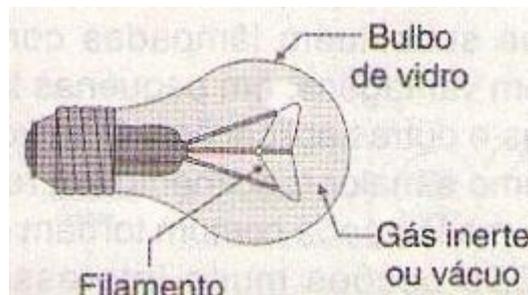
Texto retirado do site [http://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%B5es\\_de\\_Maxwell](http://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%B5es_de_Maxwell) .

Tais equações foram conferidas utilizando a referência 2 do presente trabalho.

## B: O LED

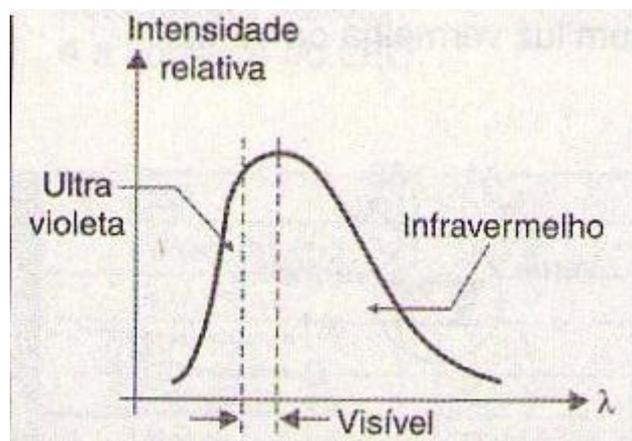
Os LEDs ou Diodos Emissores de Luz não são apenas fontes importantes de luz para os circuitos eletrônicos. Suas características semelhantes às de um diodo semiconductor possibilitam a aplicação desses componentes em funções diversas. Atualmente o projetista pode contar com uma infinidade de tipos de diodos emissores de luz para seus projetos.

Para entender bem como funciona um LED devemos compará-lo com outra fonte de luz bem conhecida que é a lâmpada incandescente. As lâmpadas incandescentes funcionam quando um filamento de metal colocado no seu interior se aquece pela passagem de uma corrente. Os átomos têm seu grau de agitação de tal forma aumentado que ocorre a emissão de luz. Para que o metal não se queime com o oxigênio atmosférico, o filamento é encerrado num bulbo de vidro dentro do qual o ar atmosférico ou é completamente retirado ou substituído por uma mistura de gases inertes, conforme mostra a figura 1.



**Figura 1:** Estrutura de uma lâmpada incandescente comum.

Entretanto, conforme mostra a figura 2, uma lâmpada incandescente é como um transmissor de rádio sem sintonia, um transmissor de ruído. Os comprimentos e onda da luz que ela emite se espalham por todo o espectro.

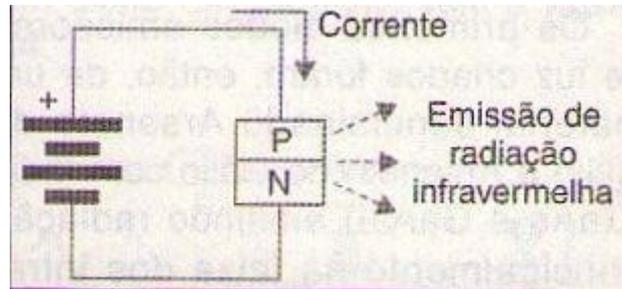


**Figura 2:** Espectro de emissão de uma lâmpada incandescente comum.

Dependendo da tensão aplicada à lâmpada, teremos predominância de certos comprimentos de onda e a luz emitida poderá ser amarelada, branca ou

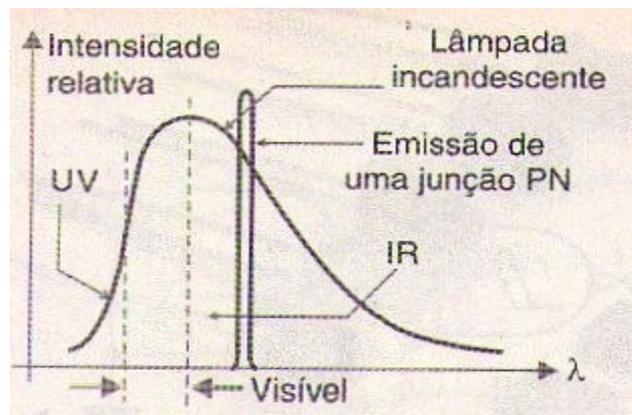
mesmo tender para o azulado. Não é, portanto uma luz pura a emitida por uma lâmpada incandescente comum.

LED é a abreviação de Light Emmiting Diode ou Diodo Emissor de Luz e seu princípio de funcionamento pode ser entendido a partir da análise do que ocorre com a estrutura da figura 3 quando uma corrente elétrica a percorre.



**Figura 3:** Emissão de radiação por uma junção PN percorrida por uma corrente.

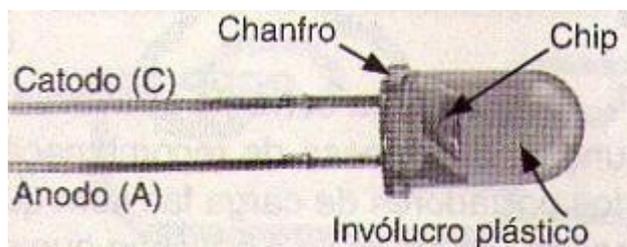
Quando uma corrente atravessa a junção o processo de recombinação dos portadores de carga faz com que ocorra um estímulo e emissão que se concentra principalmente na faixa do infravermelho. Uma característica importante observada nessa radiação é que, em lugar de sua freqüência ser aleatória, como no caso da lâmpada incandescente que se espalha pelo espectro, ela tem uma freqüência muito bem definida, que depende do tipo de material usado no semicondutor, conforme mostra a figura 4.



**Figura 4:** Espectro estreito de uma junção PN.

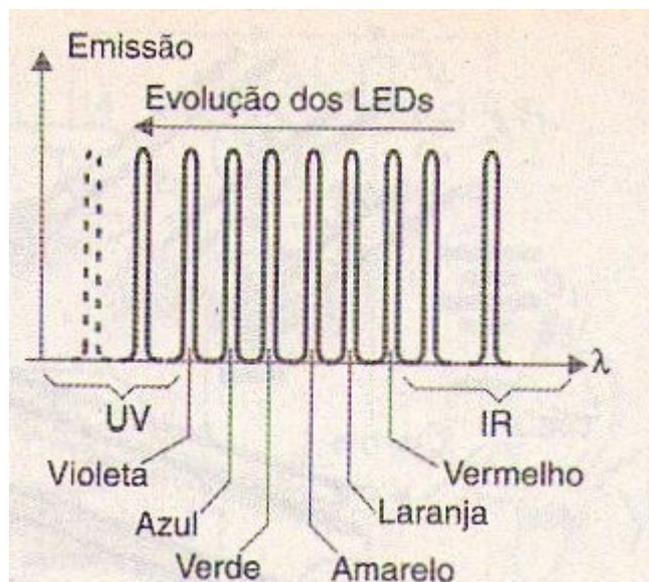
Podemos dizer que, diferentemente de uma lâmpada comum, a radiação emitida neste caso é "sintonizada" já que tem freqüência única. Para os diodos comuns de silício, onde foi descoberto o fenômeno, a intensidade de radiação emitida é muito pequena e praticamente não há utilidade para ela. No entanto, descobriu-se também que se fossem usados outros materiais semicondutores e ainda fossem acrescentados dopantes especiais era possível emitir luz com maior intensidade e em diversas faixas do espectro. Os primeiros diodos emissores de luz criados foram então de um material denominado Arseneto de Gálio e Arseneto de Gálio com Índio (FgaAs e GaAsI) emitindo radiação

principalmente na faixa dos infravermelhos. O passo seguinte foi a criação de materiais capazes de emitir radiação com comprimentos de onda cada vez menores até cair na parte do espectro visível. Surgiram então os primeiros LEDs capazes de emitir luz no espectro visível, na região do vermelho. Na figura 5 temos um LED comum com sua estrutura interna.



**Figura 5:** Estrutura interna de um LED.

Observe que a cor da luz do LED não vem do plástico que o envolve. A cor a luz depende da pastilha do material semicondutor usado. Se um LED usa plástico vermelho, é porque este plástico tem a mesma cor da luz emitida e não é ele que determina essa radiação. LEDs com plástico transparente ou branco podem emitir luz de diversas cores... O passo seguinte consistiu no desenvolvimento de LEDs que passaram a ter cores com comprimentos de onda cada vez menores dentro do espectro visível, conforme mostra a figura 6.



**Figura 6:** Os LEDs evoluem rumo a comprimentos de onda cada vez menores.

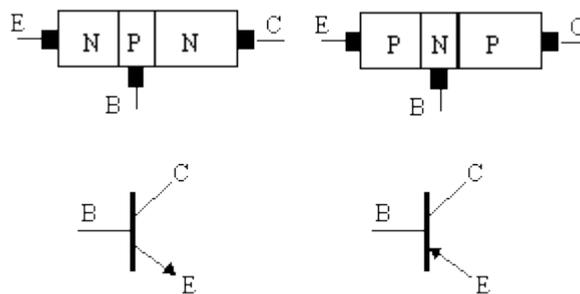
Hoje já é possível obter LEDs capazes de emitir luz azul e mesmo violeta. Os LEDs com emissão ultravioleta estão prestes a serem lançados. Uma das principais vantagens dos LEDs em relação às lâmpadas quando são usados como fontes de luz é o seu rendimento. Um LED comum pode ter rendimento superior a 80% enquanto que existem tipos de alto rendimento e alto-brilho que vão muito além. Uma lâmpada comum incandescente, por outro lado,

desperdiça a maior parte da energia que aplicamos na forma de calor. Apenas 20 a 25% da energia consumida por uma lâmpada incandescente é luz.

## C: TRANSISTOR

### 1. O Transistor Bipolar

O princípio do transistor é poder controlar a corrente. Ele é montado numa estrutura de cristais semicondutores, de modo a formar duas camadas de cristais do mesmo tipo intercaladas por uma camada de cristal do tipo oposto, que controla a passagem de corrente entre as outras duas. Cada uma dessas camadas recebe um nome em relação à sua função na operação do transistor, As extremidades são chamados de emissor e coletor, e a camada central é chamada de **base**. Os aspectos construtivos simplificados e os símbolos elétricos dos transistores são mostrados na figura abaixo. Observe que há duas possibilidades de construção dos mesmos.



O transistor da esquerda é chamado de **NPN** e o outro de **PNP**.

O transistor é hermeticamente fechado em um encapsulamento plástico ou metálico de acordo com as suas propriedades elétricas.

#### 1.1 - Características Construtivas

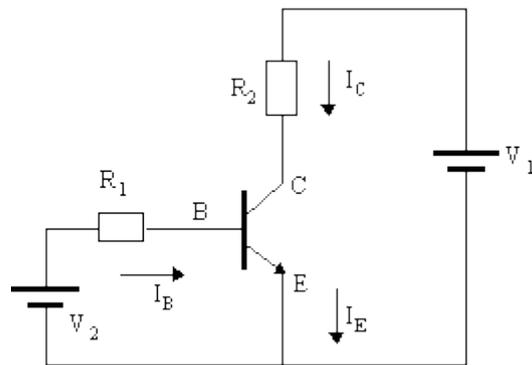
O emissor é fortemente dopado, com grande número de portadores de carga. O nome emissor vem da propriedade de emitir tais portadores. A base tem uma dopagem média e é muito fina, não conseguindo absorver todos os portadores emitidos pelo emissor. O coletor tem uma dopagem leve e é a maior das camadas, sendo o responsável pela coleta dos portadores vindos do emissor.

Da mesma forma que nos diodos, são formadas barreiras de potencial nas junções das camadas P e N.

O comportamento básico dos transistores em circuitos eletrônicos é fazer o controle da passagem de corrente entre o emissor e o coletor através da base. Para isto é necessário polarizar corretamente as junções do transistor.

## 2. Funcionamento

Polarizando diretamente a junção base-emissor e inversamente a junção base-coletor, a corrente do coletor  $I_C$  passa a ser controlada pela corrente de base  $I_B$ .



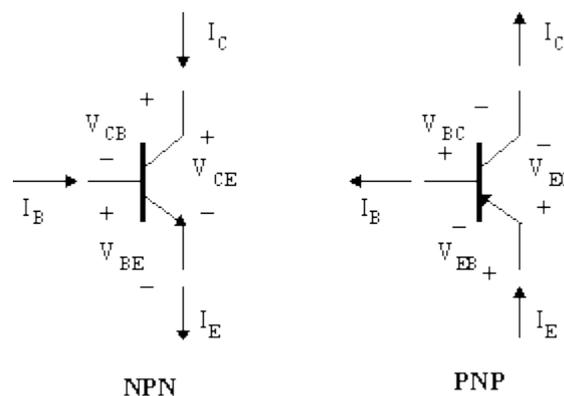
Um aumento na corrente de base  $I_B$  provoca um aumento na corrente de coletor  $I_C$  e vice-versa.

A corrente de base sendo bem menor que a corrente do coletor, uma pequena variação de  $I_B$  provoca uma grande variação de  $I_C$ , isto significa que a variação de corrente do coletor é um reflexo amplificado da variação da corrente na base.

O fato de o transistor possibilitar a amplificação de um sinal faz com que ele seja considerado um dispositivo ativo. Este efeito de amplificação, denominado ganho de corrente pode ser expresso matematicamente pela relação entre a variação de corrente do coletor e a variação da corrente de base, isto é:

$$\text{Ganho}(\beta) = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

## 2.1 - Tensões e Correntes nos Transístores NPN e PNP



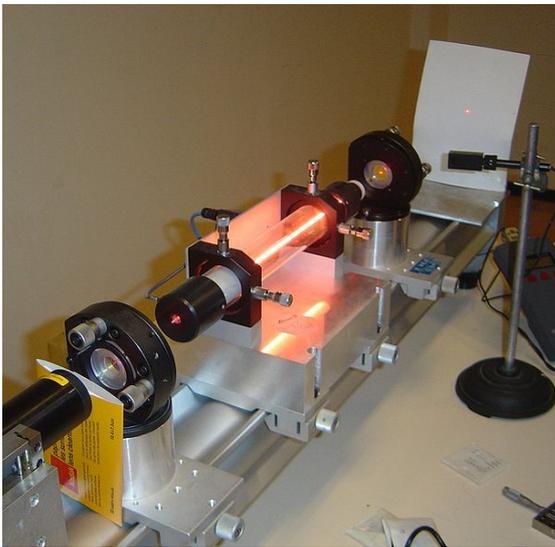
Aplicando as leis de Kirchoff obtemos:

$$I_E = I_C + I_B$$

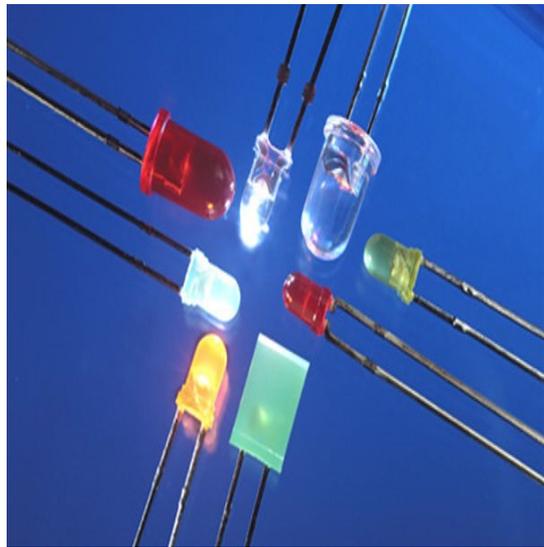
$$\text{NPN: } V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

$$\text{PNP: } V_{EC} = V_{EB} + V_{BC}$$

## D: RELAÇÃO ENTRE LASER E LED



LASER



LEDs

Para sistemas ópticos, encontramos dois tipos de fontes ópticas que são freqüentemente utilizadas: **LED** e **LASER**. Cada um destes dois tipos de fontes oferecem certas vantagens e desvantagens, e diferenciam-se entre si sob diversos aspectos:

- **Potência luminosa:** os lasers oferecem maior potência óptica se comparados com os leds.
- **Largura espectral:** os lasers têm largura espectral menor que os leds, o que proporciona menor dispersão material.
- **Tipos e velocidades de modulação:** os lasers têm velocidade maior que os leds, mas necessitam de circuitos complexos para manter uma boa linearidade.
- **Acoplamento com a fibra óptica:** o feixe de luz emitido pelo laser é mais concentrado que o emitido pelo led, permitindo uma eficiência de acoplamento maior.
- **Variações com temperatura:** os lasers são mais sensíveis que os leds à temperatura.
- **Vida útil e degradação:** os leds têm vida útil maior que os lasers (aproximadamente 10 vezes mais), além de ter degradação bem definida.
- **Custos:** os lasers são mais caros que os leds, pois a dificuldade de fabricação é maior.
- **Ruídos:** os lasers apresentam menos ruídos que os leds. Ambos podem ser

fabricados do mesmo material, de acordo com o comprimento de onda desejado:

- \* AlGaAs (arseneto de alumínio e gálio) para 850 nm.
- \* InGaAsP (arseneto fosfeto de índio e gálio) para 1300 e 1550 nm.

Através das características de ambos os elementos, vemos que o laser é o que nos fornece uma maior potência luminosa e uma menor largura espectral, razão pela qual é amplamente empregado nos circuitos ópticos. Desta forma, faremos um breve entendimento sobre os conceitos básicos do laser, bem como o seu funcionamento como fonte óptica.

[http://www.linhadetransmissao.com.br/tecnica/fontes\\_opticas\\_tipos.htm#top](http://www.linhadetransmissao.com.br/tecnica/fontes_opticas_tipos.htm#top)

## 9 - REFERÊNCIAS

- 1 - Fundamentos de Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica – DAVID HALLIDAY, ROBERT RESNICK e JEARL WALKER, 7ª ed., capítulos 16 e 17.
- 2 - Livro de Eletrodinâmica Clássica: Griffiths D.J., Introduction to electrodynamics, terceira edição de 1999
- 3 – Wilson, J. A. Eletrônica Básica: teoria e prática. Hideel, 1985.
- 4 – Silva, H. S. Acústica Técnica. Ed. H. Sheldon, 1996.
- 5 - Malvino, A. P.; “Eletrônica”, Volume I, revisão técnica 1ª edição; São Paulo: McGraw-Hill, 1986;
- 6 - Relatório final: “Construção de um defletor de laser por alto-falantes” da disciplina de F609, 1º semestre de 2002.
- 7 - Relatório final: “Transmissão por Laser” da disciplina de F609, 2º semestre de 2006.