



AULA 15

e-mail: bedamarq@uol.com.br
site: <http://sites.uol.com.br/bedamarq>

APRENDENDO ELETRÔNICA

Chegou a hora de falarmos do TRANSISTOR (o primeiro representante dos chamados componentes ativos a ser abordado aqui no nosso Cursinho Básico de Eletrônica...). Na presente Aula (e nas próximas, que o assunto é mais ou menos extenso...) veremos desde a "construção" industrial do TRANSISTOR BIPOLAR, seus parâmetros e limites, entenderemos as CORRENTES e TENSÕES num TRANSISTOR sob funcionamento, faremos os primeiros Testes e Experiências, enfim: tudo no modelo já mais do que aprovado pelos caros Leitores / Alunos e que é baseado no axioma: aprender fazendo, com a parte Teórica e "matemática" restrita ao mínimo absolutamente necessário, enfatizando – por outro lado – a Prática, as verificações, as analogias, de modo que a turma possa assimilar, com solidez, esses importantes conceitos básicos, alicerces de outros temas que virão na seqüência do Curso...!

O TRANSISTOR BIPOLAR – COMO É A SUA ESTRUTURA INTERNA E O SEU FUNCIONAMENTO BÁSICO – COMO SE COMPORTAM AS CORRENTES ENTRE OS TERMINAIS DO TRANSISTOR – ONDE PODEMOS VERIFICAR AS TENSÕES DO DITO CUJO – AS PRIMEIRAS NOÇÕES DE LIMITES E PARÂMETROS DO COMPONENTE...

Nas primeiras 14 Aulas do nosso Cursinho Básico de Eletrônica vimos a maioria dos mais importantes componentes passivos da Eletrônica, entre eles os RESISTORES, os CAPACITORES, os DIODOS e LEDs... Também já abordamos os componentes que se valem dos EFEITOS MÁGNÉTICOS DA CORRENTE...

É bom lembrar que os componentes passivos, embora possam dimensionar TENSÕES e CORRENTES

(além de determinar CONSTANTES DE TEMPO, traduzir energia elétrica em Luz, Magnetismo, Movimento, etc.), são incapazes de exercer um efeito ATIVO sobre as principais grandezas elétricas!

Já o TRANSISTOR (podemos considerá-lo como a maior revolução tecnológica do século passado...) é um componente ATIVO mesmo, capaz de exercer amplificação (*radical* ou *proporcional*, conforme veremos...) e – graças a essa capacidade – agir como núcleo dos mais diferentes circuitos e aplicações (nunca esquecendo de que *dentro* dos chamados Circuitos Integrados, que também estudaremos no devido momento, os componentes ativos ultra-miniaturizados são, nada mais, nada menos... TRANSISTORES...!). Sem a invenção do TRANSISTOR (parece, para os mais jovens, que tais componentes sempre existiram, mas foram criados há

pouco mais de meio século...!) não tínhamos rádios, aparelhos de TV, vídeo-cassete, CD players, DVD players, telefones (inclusive os celulares...), toda a profusão de eletro-domésticos “inteligentes” que hoje podemos encontrar em qualquer residência, fornos de micro-ondas, receptores de TV por satélite, alarmes, automações, micro-computadores, brinquedos eletrônicos, vídeo-games e mais uma “carrada” de coisas às quais já estamos tão acostumados que não nos damos conta de que, se todas elas desaparecessem num estalar de dedos como num passe de mágica, para a Humanidade seria quase o equivalente a retroceder, instantaneamente, até a Idade Média...!

Agora, falando um pouco sobre a estrutura do nosso Cursinho... Os Leitores/Alunos que acompanham as Aulas desde a primeira, sabem que o cronograma é pouco convencional, nada ortodoxo, às vezes bastante diferente da organização normalmente aplicada aos cursos regulares de Eletrônica que existem por aí... Dessa forma, é bom lembrar que mesmo os componentes já abordados em seus aspectos básicos, eventualmente voltarão a serem estudados em Lições mais específicas e com os detalhes que o estágio do Curso requerer...

Assim, embora iniciemos agora o importantíssimo tema que abrange o TRANSISTOR *comum* (bipolar), retornaremos no futuro a detalhar alguns *parentes* de componentes já vistos, como os RESISTORES *dependentes* (cujos valores são condicionados ou determinados por fatores externos, como TEMPERATURA, LUZ - os TERMISTORES e os LDRs, no caso...), os *primos* dos DIODOS comuns (diodos ZENER...) e outros *parentes* (como o SCR e o TRIAC...) e por aí vai... Mesmo porque, a moderna Eletrônica é tão dinâmica, que componentes novos ou aperfeiçoamentos e *especializações* de componentes já existentes, surgem a toda hora...!

Entretanto, a única maneira de conseguirmos manter a lucidez técnica em cima dessa loucura toda de novas tecnologias, é CONHECER bem os alicerces reais e práticos, dos quais o TRANSISTOR representa, com toda a certeza, uma das pedras principais...! Vejamos, então...

- COMO É CONSTRUÍDO UM TRANSÍSTOR -

Mais ou menos da primeira até a quinta década do século passado (XX), os aparelhos eletrônicos (que se resumiam a receptores de rádio, transmissores não muito sofisticados, amplificadores de áudio, etc.) eram baseados em circuitos que realizavam suas funções graças ao trabalho das arqueológicas VÁLVULAS termo-

iônicas... Os mais jovens, provavelmente, nunca sequer *viram* um componente desse tipo, formado por enormes tubos de vidro (dentro deles: vácuo...) contendo um filamento aquecedor e eletrodos metálicos em quantidade variável. Podiam operar como diodos retificadores, ou como amplificadores de TENSÃO, dependendo das corretas polarizações aplicadas aos mencionados eletrodos...

Para sossegar um pouco os veteranos (que, com toda justiça e razão, costumam *torcer o beijo* quando julgam que alguém está *falando mal* das boas e velhas válvulas...), lembramos que o termo “arqueológicas” que usamos aí atrás é aplicado com todo o respeito, e não com conotação pejorativa...! A moderna Eletrônica Prática, o mundo dos Hobbystas (principalmente dos Rádio-Amadores...) deve *muito* aquelas trambolhudas garrafas quentes...! A própria Revista ANTENNA talvez nem existisse se, no passado, as velhas válvulas não tivessem ocupado o seu espaço e permitido a criação dos circuitos práticos ao alcance que qualquer um que se dispusesse a aprender seus conceitos básicos...!

Entretanto, embora eficientes (para o seu período histórico...) as válvulas traziam uma série de desvantagens e inevitáveis inconveniências: eram grandonas, frágeis (é só atirar uma válvula e um transistor da janela do terceiro andar, e ver *qual* sobrevive...), de fabricação cara e difícil, exigiam uma quantidade de energia muito grande para o seu funcionamento, precisavam normalmente de TENSÕES muito elevadas (na casa das centenas de Volts...) e – devido à presença do inevitável filamento aquecedor – costumavam *queimar-se* com uma assiduidade nada tranquilizadora...

Os inquietos cientistas contudo, aí pelo final da década de 40 do século XX, desenvolveram o TRANSISTOR, a partir de pesquisas com materiais semicondutores (já na época utilizados na fabricação dos primeiros diodos de estado sólido, uns monstros feitos com um monte de placas metálicas recobertas com selênio...). Esse novo bichinho, embora muito menor do que as válvulas da época, era – na prática – capaz de reproduzir todas as principais funções da *vovó de vidro*...! E, além disso, apresentavam boa robustez física, consumo de energia inerentemente baixo, requeriam TENSÕES de alimentação também baixas (na casa das dezenas de Volts, ao invés das centenas requeridos pelas válvulas...), além de outras vantagens...!

Atualmente, decorridas apenas cerca de 6 décadas de pesquisas e desenvolvimentos, o TRANSISTOR tornou-se algo como o tronco de uma gigantesca árvore genealógica / tecnológica...! Filhos, netos, bisnetos

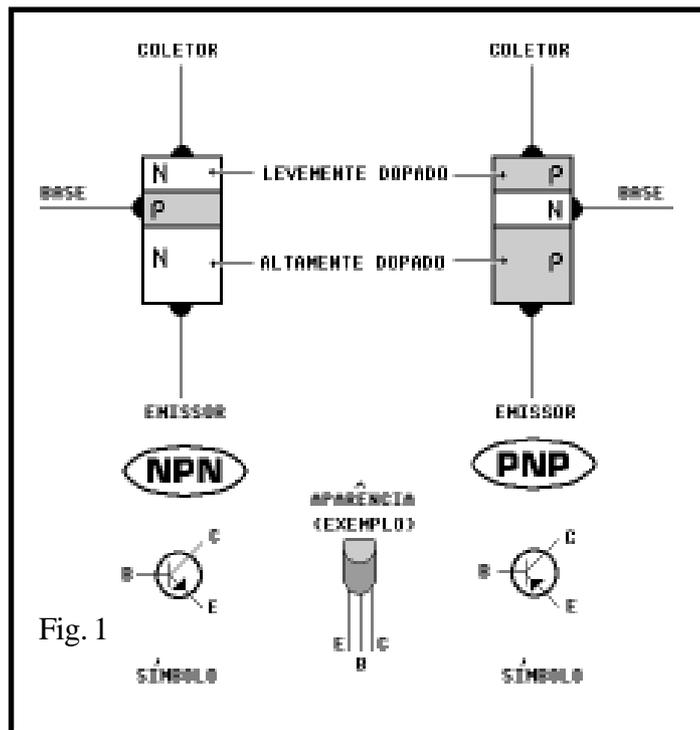
e outros descendentes diretos e colaterais surgiram em profusão, gerando um grande universo de componentes ativos, cada vez mais especializados e dedicados...! Conforme já dissémos, falaremos – no devido momento – de cada um desses descendentes...!

No momento, contudo, como estopim da coisa, como embrião de tudo isso, falaremos especificamente do TRANSÍSTOR BIPOLAR, com sua estrutura interna muito fácil de compreender, uma vez que baseada nos mesmos materiais semicondutores de polaridade P e N já vistos nas Aulas recentes sobre os DIODOS...

- FIG. 1 – A CONSTRUÇÃO FÍSICA DO TRANSÍSTOR BIPOLAR – Na parte inferior central da figura, apenas a título de exemplo, mostramos a APARÊNCIA de um TRANSÍSTOR BIPOLAR comum, de baixa POTÊNCIA... Respectivamente à esquerda e à direita, temos a estrutura semicondutora interna e o símbolo, dos transistores de polaridade NPN e PNP... Vocês se lembram que, na Aula sobre os DIODOS (quem estiver *chegando agora* ao Curso deve providenciar – imediatamente – a aquisição dos exemplares anteriores de ANTENNA, que trouxeram as importantes Aulas iniciais de APRENDENDO ELETRÔNICA...), falamos na possibilidade de se adicionar impurezas controladas (o nome técnico dessa adição é *dopagem*...) aos materiais semicondutores básicos (silício, germânio, etc.) de modo a formar blocos N (com *sobra* de elétrons...) e P (com *sobra* de buracos...). Os TRANSISTORES BIPOLARES comuns também são feitos desses materiais...! Atualmente (salvo em casos especiais...) o material que mais se usa é o silício... Enquanto os DIODOS são feitos a partir de uma única junção estabelecida entre materiais tipo P e tipo N, nos TRANSISTORES a estrutura se assemelha a um *sanduíche*, contendo esses dois tipos ou polaridades de materiais semicondutores cuidadosamente *dopados*...!

Se (esquerda na figura1) a *mortadela* do *sanduíche* for do tipo P e as duas *fatias de pão* forem do tipo N, temos o que se convencionou chamar de TRANSISTOR NPN... Já se (direita, na figura1) a *mortadela* for do tipo N e os dois *pedaços de pão* forem do tipo P, temos um TRANSISTOR PNP... Essa disposição em *sanduíche* dos materiais semicondutores é – portanto – a chave da construção física dos TRANSISTORES...! Existem, porém, alguns pontos importantes a serem considerados:

- Notar que – nos símbolos dos componentes – a setinha dentro do círculo aponta *para fora* no TRANSÍSTOR NPN, enquanto que, no TRANSÍSTOR



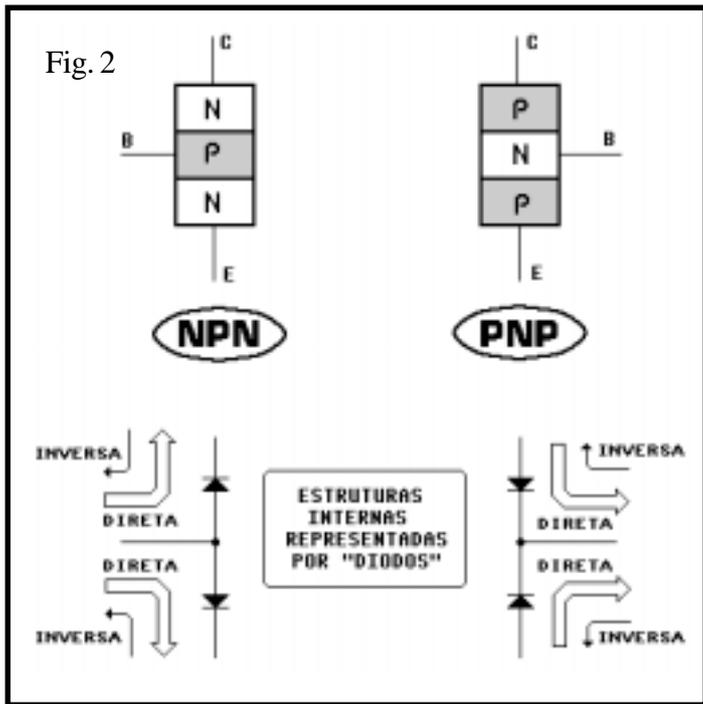
PNP a dita setinha aponta *para dentro*... Veremos mais adiante as razões dessa simbologia...

- Nas duas polaridades de TRANSISTORES (NPN e PNP) as três partes do *sanduíche* formam junções muito parecidas às já estudadas quando falamos dos DIODOS...

- A cada parte do *sanduíche* semicondutor está ligado um terminal metálico, externamente acessível... Esses três terminais têm NOME e FUNÇÃO específicas: EMISSOR (E), BASE (B) e COLETOR (C)... Apenas para dar uma explicação simplificada, a principal diferença que determina a denominação de COLETOR e EMISSOR para os *pedaços de pão* do *sanduíche* é que o bloco semicondutor que forma o primeiro (COLETOR) é levemente *dopado* (contém relativamente menos impurezas controladas...), enquanto que o segundo (EMISSOR) é *dopado* mais fortemente (contém relativamente mais impurezas...).

- Esse pequeno conjunto (é pequeno mesmo, podendo – pela tecnologia atual – ser construído um *sanduíche* desse tipo em dimensões que correspondem a minúsculas frações de milímetro...) é normalmente encapsulado num só conjunto ou invólucro, do qual sobressaem apenas os três terminais, conforme se vê do exemplo no centro da figura1. Existem também outros modelitos de encapsulamento, mas o mostrado é o mais corriqueiro, para um TRANSISTOR bipolar comum, de pequena POTÊNCIA...

- FIG. 2 – A ESTRUTURA INTERNA – Sempre lem-

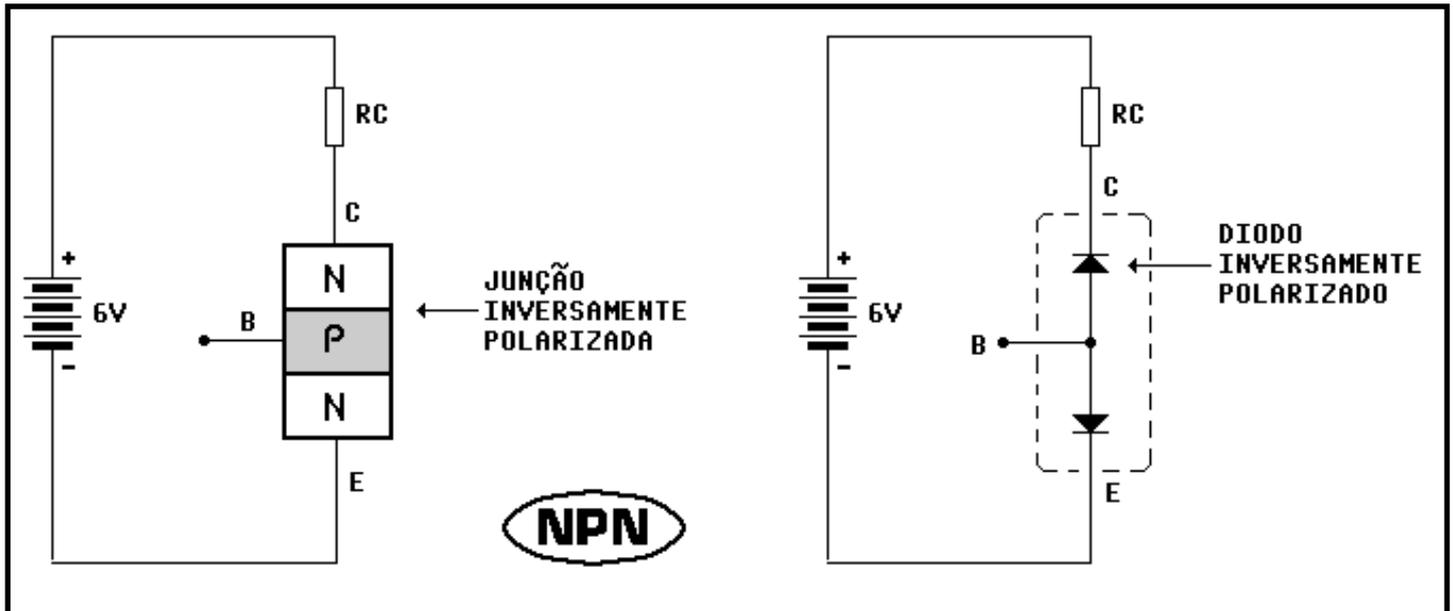


brando que um DIODO (revejam a Aula respectiva, se for preciso...) é formado por uma simples junção semicondutora PN, não deve ser muito difícil perceber que um TRANSISTOR comum, em sua estrutura semicondutora interna, forma *duas* junções PN (ou NP...). Assim, como se vê à esquerda, na figura, um TRANSISTOR NPN pode ser comparado a dois DIODOS comuns, *empilhados* Anodo com Anodo... Do mesmo modo (direita, na figura2), um TRANSISTOR PNP, em termos da estrutura das suas junções internas, corresponde a dois DIODOS *enfileirados*, ligados pelos seus Catodos... Notem que, no que diz respeito às facilidades ou dificuldades oferecidas à passagem da

CORRENTE, tais junções internas dos TRANSISTORES se comportam mesmo como se fossem DIODOS...! Desse modo, sempre que colocamos qualquer dos DIODOS internos de um TRANSISTOR em polarização direta, a CORRENTE terá relativa liberdade de trânsito, enquanto que, se polarizarmos inversamente qualquer das junções, a passagem da CORRENTE será dificultada...! No diagrama, para que tudo fique bem claro, as setas pretas e fininhas representam os percursos *difíceis* para a CORRENTE, enquanto que as setas brancas e mais largas simbolizam os caminhos mais *fáceis* para a CORRENTE...

- **IMPORTANTE** - Estamos utilizando a analogia com os DIODOS *empilhados*, apenas para melhor compreender a construção interna dos TRANSISTORES... Isso não significa, porém, que se o caro Leitor/Aluno simplesmente enfileirar dois diodos conforme mostram os diagramas, obterá um TRANSISTOR...! Essa analogia serve apenas para ilustrar e exemplificar, estaticamente, os caminhos naturalmente fáceis e difíceis para a CORRENTE, dentro do TRANSISTOR, analisando cada junção PN individualmente...!

- **FIG. 3 - ANALISANDO O FUNCIONAMENTO DO TRANSISTOR, COMO UM TODO** - Na esquerda da figura temos um diagrama estrutural por blocos semicondutores, e na direita o seu equivalente com os "DIODOS" internos, para um TRANSISTOR NPN submetido a TENSÃO, fornecida por um gerador externo (pilhas, perfazendo 6 Volts, no exemplo...). Observando bem as polarizações, veremos que o RESISTOR RC encontra-se *em série* com o TRANSISTOR, ligado entre



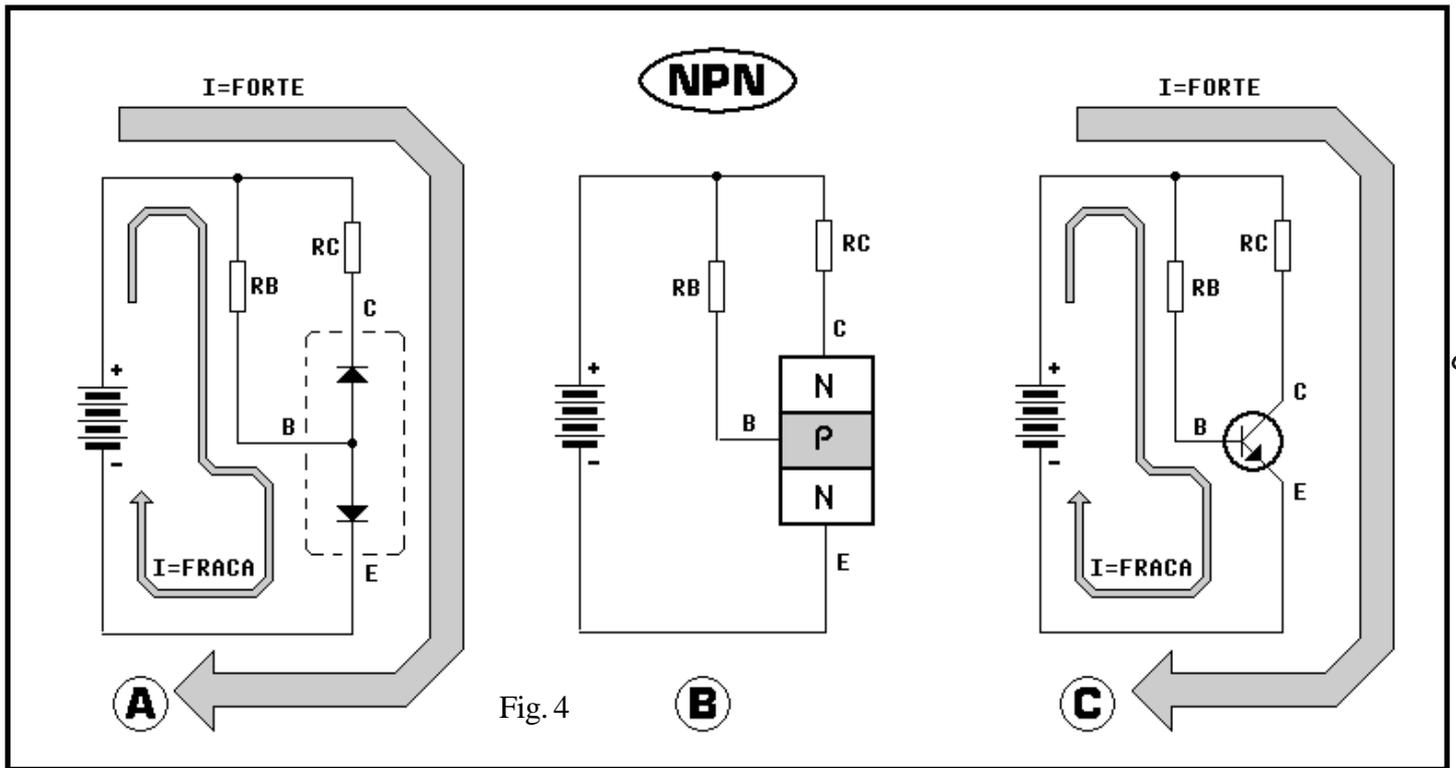


Fig. 4

seu terminal do COLETOR (C) e as pilhas, de modo a atuar como um verdadeiro limitador da CORRENTE (rever a **Aula 1...**). Em outras palavras: a boa e velha Lei de Ohm nos diz que a CORRENTE máxima que poderá transitar pelo sistema está automaticamente condicionada ao valor desse RESISTOR...! Entretanto, se (como mostra a figura3) ligarmos o terminal de COLETOR (C) ao **positivo** das pilhas – via RC – e o terminal de EMISSOR (E) ao **negativo**, praticamente nenhuma CORRENTE consegue transitar pelo arranjo, uma vez que um dos “DIODOS” internos (o *de cima...*) estará inversamente polarizado... Até aí, tudo fácil de compreender, não é...? Mas, afinal de contas, para que serviria um arranjo desse tipo...? Além dessa pergunta, o Leitor / Aluno mais atento também querará saber: “- *E o terminal de BASE (B)...? Está lá pra quê...?*” Vejamos a próxima figura4.

- **FIG. 4-A** – (DIAGRAMA UTILIZANDO A ANALOGIA DOS “DIODOS” INTERNOS) – Se o terminal de BASE (B) de um TRANSISTOR NPN for ligado ao **positivo** da alimentação, através de um RESISTOR de valor relativamente elevado (RB), transitará pela junção PN correspondente ao conjunto BASE / EMISSOR uma CORRENTE **I fraca**... Notar que o DIODO *de baixo*, no diagrama, fica diretamente polarizado com relação à CORRENTE proveniente do RESISTOR RB... Essa CORRENTE, embora encontre facilidade no seu percurso,

será fraca em virtude do valor elevado de RB... É aí, contudo, que reside todo o segredo do funcionamento dos TRANSISTORES: essa CORRENTE de BASE / EMISSOR, ainda que fraquinha, gera um importante efeito na totalidade do *sanduíche* semiconductor (faz uma espécie de *re-arrumação* dos elétrons e *buracos...*), induzindo o “DIODO” *de cima* a deixar de agir como se estivesse inversamente polarizado...!

- **NOTA** – Vamos recordar um pouco... Tanto nos símbolos dos componentes, quanto nos diagramas explicativos, as setas costumam indicar o chamado SENTIDO CONVENCIONAL da CORRENTE, como se esta estivesse *saindo* do **positivo** e *indo* para o **negativo**, embora nós saibamos que – na verdade – o fluxo de elétrons caminha ao contrário, do **negativo**, onde *sobram*, para o **positivo**, onde *faltam*... Retornemos à **FIG. 4-A** analisando a coisa em termos de fluxo de elétrons...

- O “DIODO” *de baixo* (junção B-E) encontra-se diretamente polarizado, permitindo a passagem da CORRENTE... Os elétrons, então, *saem* do **negativo** da alimentação (pilhas), *entram* pelo terminal de EMISSOR (E) e, através do RESISTOR RB, *retornam* às pilhas pelo seu polo **positivo**... Nesse caminho, contudo, os elétrons agem também sobre a **barreira de potencial** (rever Aula sobre os DIODOS...) do “DIODO” *de cima* (que, normalmente, estaria inversamente polarizado...),

fazendo com que esta diminua, permitindo assim que esse "DIODO" *de cima* (junção C-B) admita a passagem de uma CORRENTE relativamente forte, como que *vencendo* o sentido inverso da junção...!

- Vencida a citada junção C-E, a outra junção (B-E) não constitui grande obstáculo à passagem da CORRENTE, já que se encontra, naturalmente, polarizada no sentido direto... Dessa forma, podemos obter uma substancial passagem de CORRENTE entre os terminais de COLETOR (C) e EMISSOR (E)... E notem que isso foi obtido a partir daquela pequena CORRENTE no terminal de BASE (B), limitada pelo RESISTOR RB, de alto valor...! O RESISTOR RC no COLETOR do TRANSISTOR (lembramos...) funciona então como um delimitador final da CORRENTE forte obtida entre os terminais C e E...! Resumindo:

- **1** – Uma CORRENTE fraca entre os terminais de BASE e EMISSOR, determina a circulação de uma CORRENTE forte entre os terminais de COLETOR e EMISSOR... Ocorreu, então, o que denominamos AMPLIFICAÇÃO de CORRENTE...!

- **2** – Notar, entretanto, o seguinte: essa CORRENTE forte (de COLETOR para EMISSOR...) não surge do nada...! Ela provém (assim como a CORRENTE fraca de BASE para EMISSOR...) das pilhas, respeitadas as limitações naturais dessa fonte de energia...! Então, é bom lembrar de um conceito (que parece óbvio para os veteranos, mas costuma confundir os principiantes mais *criativos*...) fundamental: um TRANSISTOR não pode *fazer* CORRENTE ou energia... O que ele faz, sim, é **controlar** ou dimensionar uma CORRENTE ou energia relativamente fortes, a partir do *comando* de outra CORRENTE ou energia bem mais fracas...!

- **3** – A CORRENTE de COLETOR, desenvolvendo-se sobre o RESISTOR RC, relativamente forte, é – dentro de certos limites – diretamente proporcional à CORRENTE de BASE (fraquinha...). Isso quer dizer que, se dentro de certas condições (cujos detalhes veremos mais à frente, no presente bloco de Aulas...), fizermos uma CORRENTE de 1 miliampére (0,001A) circular pela BASE, obtendo no COLETOR uma CORRENTE de – digamos – 100 miliampéres (0,1A), é de se esperar que se aplicarmos à BASE uma CORRENTE de 0,002A, obtemos, no COLETOR, uma CORRENTE DE 0,2A e assim proporcionalmente...

- **4** – Essa relação entre a CORRENTE de COLETOR e a de BASE determina o *fator de amplificação*, ou seja, o GANHO DE CORRENTE de um TRANSISTOR (em palavras simples, o *quanto* ele é capaz de amplificar...).

Se chamarmos a CORRENTE de COLETOR de **Ic** e a de BASE de **Ib**, podemos organizar uma pequena fórmula, simples porém importante:

$$Ic/Ib = \text{ganho (fator de amplificação)}$$

No caso do exemplo citado no item **3**, podemos sintetizar os cálculos:

$$0,1 / 0,001 = 100 \text{ ou } 0,2 / 0,002 = 100$$

No caso, o **ganho** (fator de amplificação de CORRENTE...) do tal hipotético TRANSISTOR é **100**. Esse é um parâmetro importante de qualquer TRANSISTOR, e sobre o qual falaremos com mais detalhes adiante, quando relacionarmos os limites do componente e suas interpretações práticas...

- **FIG. 4-B** - O mesmo arranjo de polarizações da FIG. 4-A, porém com a estrutura interna do TRANSISTOR NPN vista em seus blocos semicondutores...

- **FIG. 4-C** – Ainda o mesmo arranjo, porém agora desenhado em seus símbolos esquemáticos, exatamente como apareceriam (e aparecerão...) nos diagramas de circuitos (*esquemas*...). É bom que o Leitor / Aluno compare e relacione bem os diagramas da **FIG. 4** para *sentir* o comportamento e os CAMINHOS da CORRENTE num circuito transistorizado, mesmo que essa informação visual esteja na forma de um simples *esquema*...! É assim que, lenta, porém seguramente, o Leitor / Aluno aprende a *pensar eletronicamente*...!

- **FIG. 5** – O equivalente a tudo o que já vimos na **FIG. 4**, porém agora referindo-se a um TRANSISTOR PNP... Em **5-A** um diagrama com os 'DIODOS' internos, em **5-B** com a estrutura de blocos semicondutores e em **5-C** no que chamamos de diagrama esquemático (em símbolos...) do circuito... Observar (e isso é IMPORTANTE...) que, devido às polarizações agora *invertidas* dos 'DIODOS' internos, para obtermos o mesmo comportamento de amplificação já estudado na figura anterior (TRANSISTOR NPN...), tanto a polaridade da alimentação (pilhas) como todos os sentidos das CORRENTES, são também *invertidos*...! Assim, num TRANSISTOR PNP, para obtermos uma CORRENTE relativamente forte entre COLETOR e EMISSOR, precisamos polarizar seu terminal de BASE (via RESISTOR RB...) ligando-o ao **negativo** da alimentação / pilhas...! Tirando essas inversões (necessárias, já que a estrutura do *sanduíche* semicondutor interno é inverso com relação à de um TRANSISTOR NPN...), o comportamento do

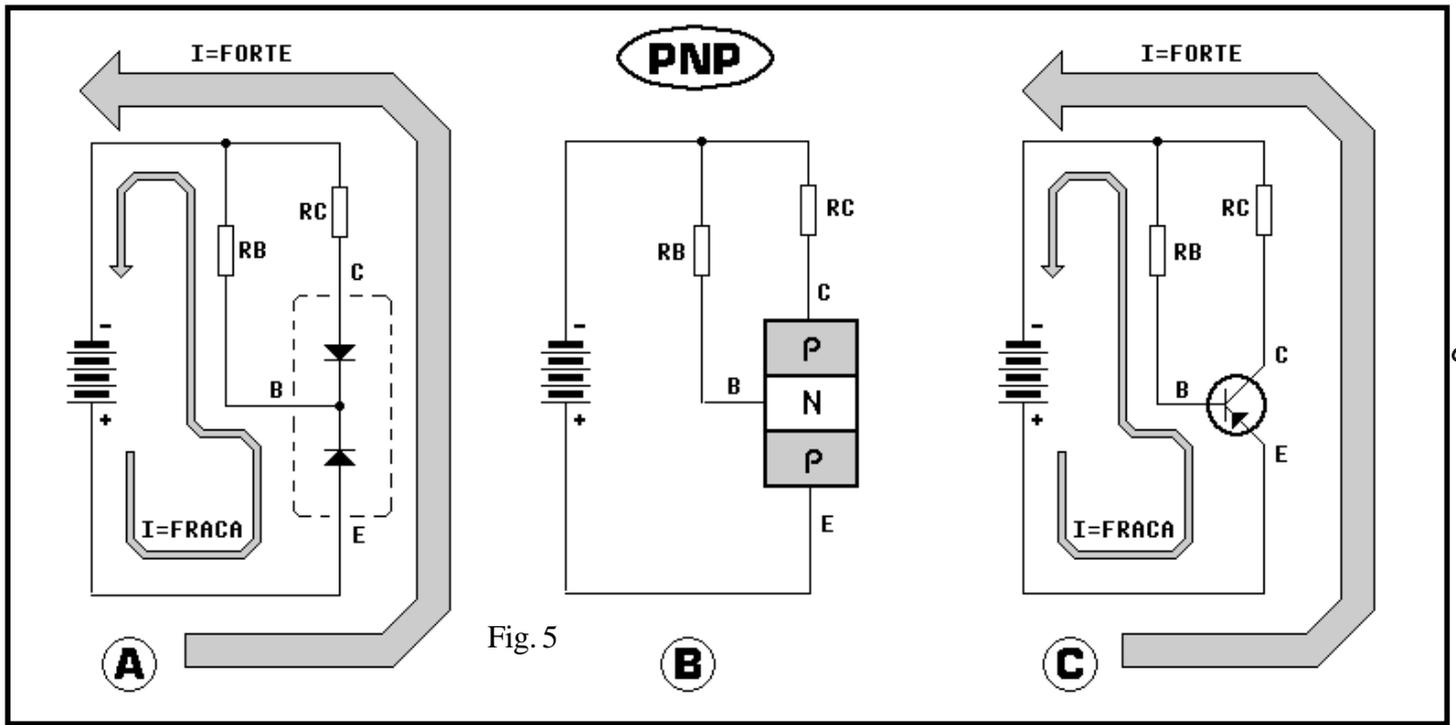


Fig. 5

TRANSISTOR PNP é absolutamente idêntico ao de um NPN...

- **PARÂMETROS E LIMITES DOS TRANSISTORES**

- Já havíamos falado nisso antes, porém é um tema de permanente importância e – por isso – é sempre bom reativá-lo na cabeça da turma: por questões inerentes à própria matéria-prima de sua feitura industrial, é absolutamente inevitável que todos os componentes eletro-eletrônicos, passivos ou ativos, apresentem LIMITES ou parâmetros, mínimos e máximos, de funcionamento, quanto às diversas grandezas elétricas que podem manejar (CORRENTES, TENSÕES, POTÊNCIAS, FREQUÊNCIAS, etc.). É bom lembrar que mesmo uma simples chave interruptora, tipo liga-desliga, que instalada aí na parede da sua sala, controla o acendimento da lâmpada no teto, tem LIMITES técnicos e parâmetros a serem respeitados...! Se olharmos com atenção o corpo do dito interruptor simples (ou o Manual do fabricante...), devemos encontrar lá inscritos tais limites... Por exemplo: "250V – 10A", indicando claramente que a tal chave pode realizar o seu trabalho controlando TENSÕES de até 250V e CORRENTES de até 10A... A maioria de nós, porém é de uma teimosia galopante e adora desafiar... Assim, muitos daqueles que só acreditam vendo, com certeza vão querer experimentar o tal interruptor controlando CORRENTE de – digamos – 20 A... Nesse caso, porém, mais cedo ou mais tarde (freqüentemente *mais cedo*...) o resultado será uma peça *frita* (além de outras coisinhas pouco agradáveis, como incêndio na casa, e por aí vai...).

TRANSISTORES também têm seus limites e parâmetros que devem ser rigorosamente respeitados e considerados, qualquer que seja a aplicação circuitual ou função que atribuamos aos bichinhos trípodes...! Mesmo nas mais simples aplicações, apenas poderemos esperar funcionamento confiável e preservação da integridade física do componente, se respeitarmos os citados limites... Eles podem, sim, ser facilmente inutilizados por excesso de TENSÃO, CORRENTE, POTÊNCIA, etc....! Como são componentes consideravelmente mais complexos do que RESISTORES ou CAPACITORES, os TRANSISTORES têm *mais* parâmetros a serem considerados. Vamos mostrar em seguida, um por um dos principais limites e características técnicas dos TRANSISTORES bipolares, com suas abreviações, traduções e explicações diretas:

- **IC (max)** – É a máxima CORRENTE de COLETOR (normalmente indicada, nas Tabelas, em Ampéres ou Miliampéres...) que o TRANSISTOR pode manejar... Se excedido tal parâmetro, o componente aquecerá, entrando num processo que chamamos de **avalanche térmica** (quanto mais quente, mais CORRENTE, e quanto mais CORRENTE, mais quente...), até *queimar-se*... Esse é, portanto, um limite que não deve e não pode ser ultrapassado, e assim, em qualquer projeto ou circuito, temos sempre que adotar certos procedimentos ou *truques* para mantê-lo dentro do suportável pelo TRANSISTOR... Nos arranjos mais comuns, tais procedimentos são os seguintes: **(1)** A colocação, entre o terminal de COLETOR e a linha da alimentação (**positivo**

para os NPN e **negativo** para os PNP...) um RESISTOR, chamado de RESISTOR DE CARGA ou RESISTOR DE COLETOR (RC), cujo valor deve ser calculado para manter a CORRENTE de COLETOR dentro do valor de **IC (max.)**. (2) Considerando o fator de amplificação (ganho) do TRANSISTOR, procurar manter a CORRENTE de BASE num nível restrito... Isso não é difícil de dimensionar através do RESISTOR de BASE (ou até, no caso de polarizações mais complexas, que veremos em Aulas mais adiante, com o uso de mais de um RESISTOR, organizados em divisores de TENSÃO...). A idéia é sempre dimensionar a CORRENTE de BASE de modo que multiplicada pelo ganho, proporcione uma CORRENTE de COLETOR dentro dos limites de **IC (max.)** (3) Dimensionamento da TENSÃO de alimentação, já que, pela velha Lei de Ohm, sabemos que a CORRENTE que circula por qualquer componente ou circuito é sempre diretamente proporcional à TENSÃO aplicada... Desse modo, mantendo a dita TENSÃO dentro de limites saudáveis, também as CORRENTES (incluindo a CORRENTE de COLETOR...) ficarão forçosamente dentro dos limites aceitos pelo componente...

- **FAIXA DE LIMITES** – A máxima CORRENTE de COLETOR, dependendo do componente, da sua destinação, pode variar desde alguns poucos miliampéres até dezenas de Ampéres... Só para dar alguns exemplos, enquanto um TRANSISTOR BF198 admite uma **IC (max.)** de apenas 20mA, um TIP3055 pode suportar uma **IC (max.)** de até 15A, ou seja: o segundo pode manejar uma CORRENTE 750 vezes maior do que o primeiro...!

- **VCE (max.)** – Máxima TENSÃO aplicável entre COLETOR e EMISSOR do TRANSISTOR... Este também é um parâmetro do tipo definitivo, ou seja: se ultrapassado a chance de inutilizar o componente pelo rompimento das suas junções semicondutoras internas é de praticamente 100%... Usamos pelos menos dois métodos básicos para não ultrapassar tal limite, mantendo-o dentro do aceitável pelo componente: (1) Simplesmente não utilizar uma fonte de alimentação com TENSÃO superior a **VCE (max.)**. Desse modo, sob nenhuma hipótese o TRANSISTOR poderá receber, entre COLETOR e EMISSOR, uma *voltagem* além do suportável...! (2) Se o projeto ou circuito como um todo exigir TENSÕES elevadas de alimentação (isso porquê outros blocos do hipotético circuito necessitam de *voltagens* mais *bravas* para seu funcionamento...), podemos facilmente recorrer a divisores de TENSÃO elaborados com RESISTORES (é a onipresente Lei de Ohm novamente nos socorrendo nos cálculos...), de modo a apresentar ao TRANSISTOR apenas os limites de TENSÃO que ele *gosta*, não mais...!

- **FAIXA DE LIMITES** – TRANSISTORES bipolares

podem ser industrialmente construídos para ampla faixa de valores de **VCE (max.)**, nas medidas necessárias para as mais diversas aplicações circuitais... Alguns exemplos: enquanto um antigo TRANSISTOR de germânio (já fora de linha, mas ainda podendo ser encontrado por aí, em alguma empoeirada gavetinha de varejista...) tipo AC126 admite uma **VCE (max.)** de apenas 12V, um (mais moderno, de silício, e para aplicações pesadas...) TIP51 pode trabalhar com **VCE (max.)** de até 250V, ou seja: uma TENSÃO quase 21 vezes maior do que a aceita pelo primeiro...!

- **hFE** – É o ganho ou fator de amplificação de CORRENTE contínua (que guarda, contudo, estreita relação com os fatores de amplificação de sinais alternados, conforme veremos mais adiante...). Como vimos já na presente Aula, o chamado ganho nada mais é do que o número de vezes que o componente pode *multiplicar* a sua CORRENTE de BASE, manifestando o resultado na CORRENTE de COLETOR... Exemplificando: se determinado TRANSISTOR, em situação estática (alimentado e polarizado de forma fixa...) apresenta uma CORRENTE de COLETOR de, digamos, 1A, e sua CORRENTE de BASE, medida nas mesmas condições, é de 5 mA, podemos dizer que o ganho, ou **hFE** é de 200 (1A dividido por 0,005A). Novamente aqui precisamos nos lembrar de algumas coisinhas que – apesar de óbvias – costumam enganar a *mente acelerada* dos principiantes: **um TRANSISTOR não pode fabricar CORRENTE e o limite IC (max.) não pode ser ultrapassado às expensas do ganho...!**

- **FAIXA DE LIMITES** – O **hFE** também é um parâmetro extenso em seus limites, dependendo do TRANSISTOR e do seu tipo de aplicação... Alguns exemplos: enquanto um TRANSISTOR de alta POTÊNCIA, como o TIP3055 mostra um **hFE** de apenas 15, um BC548 (pequena POTÊNCIA...) pode apresentar um ganho de até 800...! Existem ainda os chamados TRANSISTORES bipolares de super-ganho, mas que – na verdade – constituem arranjos chamados de Darlington, formados por *dois* transístores enfiados no mesmo encapsulamento (veremos isso mais à frente, no nosso Cursinho...), com fatores de amplificação superiores a 1.000, podendo mesmo chegar a 10.000 ou mais...!

- **P (tot)** – É a dissipação máxima e total de POTÊNCIA (normalmente indicada em Watts ou Miliwatts) normalmente recolhida no seu COLETOR, e somada à dissipação ocorrida no próprio TRANSISTOR... Desse parâmetro infere-se outro, o **Pc (max.)**, que é a máxima POTÊNCIA de COLETOR, já *descontada* a dissipação intrínseca do próprio componente... Esse **Pc (max.)**, portanto, é o que podemos considerar como a parte aproveitável de **P (tot)**. Para máxima segurança na apli-

cação do componente, convém restringir-se, na prática, à metade do seu limite máximo, na dissipação real da carga controlada pelo TRANSISTOR através do seu COLETOR... É bom lembrar que a POTÊNCIA (em Watts) é o resultado do produto da TENSÃO (em Volts) pela CORRENTE (em Ampéres) e que assim dois importantes parâmetros dos TRANSISTORES relacionam-se diretamente com **P (tot)**: o **IC (max.)** e o **VCE (max.)**. Uma elevada TENSÃO entre COLETOR e EMISSOR, aliada a uma alta CORRENTE de COLETOR, inevitavelmente levam a um alto **P (tot)** e a uma grande **Pc (max.)**. Assim (como ocorre com praticamente todos os outros parâmetros dos TRANSISTORES...) **P (tot)** é um limite que não deve ser ultrapassado, sob pena de *torrar-se* o componente...! O uso de dissipadores ou radiadores externos de calor (falaremos disso mais adiante...) torna-se quase que obrigatório nos TRANSISTORES de devam operar sob POTÊNCIAS elevadas, no sentido de proteger o componente da já mencionada *avalanche térmica*...

- **FAIXA DE LIMITES** – Esse também é um parâmetro ou limite bastante variável, de componente para componente, dependendo das suas aplicações... Exemplos...? Enquanto um TRANSISTOR BC237 pode dissipar, como máximo, míseros 100mW, um taludo TIP3055 pode manejar uma POTÊNCIA total de até 90 Watts (900 vezes mais do que o primeiro)...

- **f** – FREQUÊNCIA máxima de funcionamento (obviamente que considerando o TRANSISTOR no manejo de sinais alternados...), normalmente indicada, nas Tabelas, em Megahertz (milhões de ciclos por segundo...). Dependendo das suas características construcionais, um TRANSISTOR pode trabalhar sob ampla gama de FREQUÊNCIAS máximas... Ocorre, porém, um fenômeno que sempre deve ser levado em conta, nas análises de circuitos e nos seus projetos: quanto *mais alta* a FREQUÊNCIA na qual colocamos um TRANSISTOR para trabalhar, *menor* será o seu ganho real... Disso decorre outro importante limite a ser respeitado, que é a chamada FREQUÊNCIA de TRANSIÇÃO, cuja definição técnica é: a velocidade de trabalho na qual o ganho do componente se reduz a "1" (ou seja: a FREQUÊNCIA na qual o TRANSISTOR simplesmente... *não amplifica mais*...).

- **FAIXA DE LIMITES** – Dependendo do seu destino ou aplicação específica, TRANSISTORES podem apresentar um parâmetro **f** desde poucos Megahertz (um TIP51, por exemplo, praticamente *perde* o seu ganho ou fator de amplificação a partir de uns 2,5 MHz...) até centenas de Megahertz (um BF199 apresenta ganho aproveitável até cerca de 550 MHz, ou seja: pode operar em FREQUÊNCIA 220 vezes maior do que a do primeiro...). Existem, atualmente (*a necessidade é a mãe*

da invenção, e os celulares, receptores de TV via satélite, etc., apresentam circuitos que exigem tais parâmetros...), TRANSISTORES específicos para UHF (super-alta FREQUÊNCIA...) e que podem operar eficientemente em velocidades de milhares de Megahertz... Embora (pelo seu aspecto básico...), nosso Cursinho não tenha a pretensão de ir tão fundo, falaremos eventualmente sobre tais componentes, no futuro...

- **OUTROS PONTOS IMPORTANTES SOBRE PARÂMETROS E LIMITES** – Além dos aqui mencionados e comentados, existem outros limites a serem considerados, porém apenas válidos em abordagens técnicas muito profundas e específicas, que vão além das intenções básicas do nosso Cursinho... Entretanto, se em qualquer Aula futura de APRENDENDO ELETRÔNICA surgir a necessidade de se levar em conta tais parâmetros mais específicos, eles serão explicados e analisados... Por enquanto, contudo, o que foi mostrado nos parece suficiente para o entendimento do caro Leitor / Aluno...

Agora, é bom considerar alguns conceitos, entre eles a **rigorosa interdependência** dos limites de um TRANSISTOR...! Nenhum deles pode ser violado ou ultrapassado às expensas de outro limite...! Um exemplo (os principiantes costumam *cair* nesse tipo de raciocínio enganoso...): um determinado TRANSISTOR apresenta um ganho (**hFE**) de 500 e assim se pressupõe que aplicando-lhe uma CORRENTE de BASE de 5 mA será possível obter uma CORRENTE de COLETOR de 2,5A (0,005 x 500). Acontece que o parâmetro **IC (max.)** desse mesmo TRANSISTOR diz 1A... No caso, então, é simplesmente impossível puxar, no COLETOR do dito componente, uma CORRENTE de 2,5A, mesmo que o **hFE**, matematicamente, indique tal possibilidade...! Essa aparente armadilha vale para qualquer outra inter-relação de parâmetros e limites...!

Outra coisa a não ser esquecida: *não se pode obter energia do nada*, um TRANSISTOR não *cria* POTÊNCIA, não é capaz de *gerar* trabalho, senão aquele proveniente da fonte que o alimenta (pilhas, por exemplo...)... O componente não poderá controlar lâmpadas, motores ou sistemas de som, que utilizem *mais energia* do que as respectivas fontes de alimentação são capazes de fornecer...! Conforme já dissémos, embora tais coisas pareçam óbvias, os iniciantes às vezes são pegos em projetos mirabolantes, tipo moto-perpétuo ou coisa que o valha... As leis que regem o funcionamento do Universo são intransponíveis... Não é possível criar energia e – cada vez que transformamos energia de um tipo em outro, ocorre uma inevitável perda... É a *entropia* que rege o Cosmos e simplesmente não há matemática capaz de reverter tal condição...

- FIG. 6 - CORRENTES E TENSÕES NUM TRANSÍSTOR SOB FUNCIONAMENTO

- Em futura Aula do nosso Cursinho, aprenderemos as importantes medições (e os seus instrumentos, os MEDIDORES...) que podem e devem ser feitas nos componentes e circuitos, para uma perfeita análise estática e dinâmica dos seus funcionamentos... A título de exemplo, a figura mostra em A um arranjo típico de amplificador de C.C. para um TRANSISTOR NPN e, em B, o equivalente para um PNP... Essa configuração clássica é chamada de arranjo em **emissor comum** (o EMISSOR *serve* tanto ao bloco de **entrada**, como caminho de retorno para a CORRENTE de BASE, quanto ao bloco de **saída**, para o retorno da CORRENTE de COLETOR, comandada pelo TRANSISTOR e utilizada pela carga ou aplicação (RC). Na figura, as setas indicam o sentido convencional da CORRENTE (do **positivo** para o **negativo**...) em suas várias ramificações ou caminhos... As mais importantes grandezas a serem medidas, calculadas, conhecidas e consideradas, são:

- **IB** - CORRENTE de BASE - Determinada pela TENSÃO de alimentação e pelo valor do RESISTOR (ou resistores, como veremos mais adiante...) de BASE, RB...

- **IC** - CORRENTE de COLETOR - Que se desenvolve sobre a carga de COLETOR, no caso o RESISTOR RC...

- **IE** - CORRENTE de EMISSOR - Na prática, é a *soma* de **IB** e **IC**...

- **RB** - RESISTOR(es) de BASE ou de polarização... Embora a figura mostra apenas um RESISTOR interligando o terminal de BASE do TRANSISTOR à linha de alimentação da conveniente polaridade, em muitos circuitos (como veremos em Aulas futuras...) essa polarização pode ser obtida de forma *composta*, ou através de divisores de TENSÃO (mais de um RESISTOR) ou via arranjos específicos, incluindo realimentações e outras mumunhas que veremos no devido momento...

- **RC** - RESISTOR de COLETOR (ou carga de COLETOR...).

- **VCE** - TENSÃO medida entre o COLETOR e o EMISSOR do TRANSISTOR... É importante notar, desde já, que embora proporcional à TENSÃO de alimentação, nem sempre é igual a esta, uma vez que o estado momentâneo do próprio TRANSISTOR determina, em conjunto com RC, um divisor de TENSÃO...

- **VB** - TENSÃO de BASE - Medida entre esta e a linha de referência de *terra* (no caso, o próprio EMISSOR, no simples arranjo circuitual mostrado, embora existam outras configurações possíveis, inclusive com RESISTOR de EMISSOR, etc...). Para que um TRANSISTOR possa operar proporcional e linearmente como amplificador, esse parâmetro tem valores mínimos e máximos a serem considerados (veremos em próximas Aulas...).

Outros pontos e *nós* do circuito podem elucidar muito, através das medições de CORRENTES e TENSÕES neles presentes, sobre o funcionamento e o estado do componente, em seus aspectos estáticos e dinâmicos... Conversaremos sobre isso, quando necessário...

FIM DA DÉCIMA QUINTA AULA - Na presente Lição demos início à importante fase do nosso Cursinho, começando a abordar com maior profundidade o funcionamento dos componentes ativos... Na sequência, teremos Aulas também muito importantes e absolutamente imperdíveis, nas quais continuaremos o tema: o TRANSISTOR como *chave eletrônica*, abordagens de circuitos práticos, as possibilidades de acoplamento de vários TRANSISTORES, as configurações mais usadas, truques e macetes diversos... Enfim: aos Leitores / Alunos pontuais e assíduos, o importante é manter a atenção e o raciocínio... Aos que estão chegando agora, a recomendação é: procurem obter as Aulas anteriores e providenciem, com urgência, uma assinatura de ANTENNA - ELETRÔNICA POPULAR, para que não haja a possibilidade de perder - no futuro - importantes sequências de APRENDENDO ELETRÔNICA... Até a próxima...!

(•OR 1296 An-Ep)

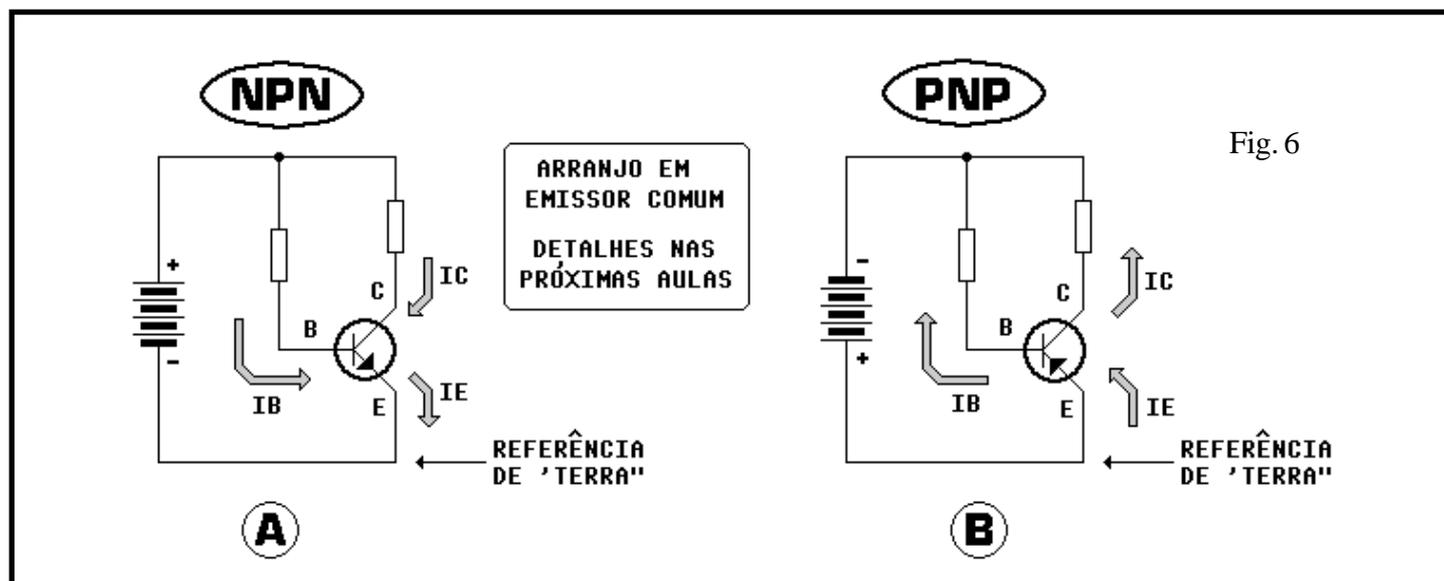


Fig. 6