

Prof. José André Guimarães

**NOÇÕES  
DE  
RADIOELETRICIDADE  
PARA RADIOAMADORES**



**LABRE-RS**

Federação Sul-Rio-Grandense de Radioamadores

PORTO ALEGRE - RS

2001

G963n Guimarães, José André

Noções de Radioeletricidade para radioamadores. Porto Alegre:  
LABRE/RS, 2001.  
132p.:il.

Inclui bibliografia.

1. Eletrotécnica – Rádio. 2. Radioeletricidade
3. Radiocomunicação. 4. Telecomunicação – Satélites.

CDU 621.396

---

Catálogo na publicação;  
Bibliotecária Hedi Schütz – CRB 10/51

Proibida a reprodução total ou parcial, bem como a reprodução de apostilas a partir deste livro, de qualquer forma ou por qualquer meio eletrônico ou mecânico, inclusive através de processos reprográficos de fotocópia e de gravação. (Lei no. 5.988, de 14 de dezembro de 1973.)

Direitos da publicação, total ou parcial, cedidos para LABRE/RS–  
FEDERAÇÃO SUL-RIO-GRANDENSE DE RADIOAMADORES.

## **PREFÁCIO**

Quando fui convidado a prefaciar este trabalho, senti-me provavelmente tão constrangido quanto o jurista Eliézer Rosa, ao ser incumbido por Machado Guimarães de escrever um prefácio ao seu livro: o mestre pedia ao discípulo que apresentasse sua obra... No meu caso, além de mestre, o Eng<sup>o</sup> José André Guimarães (PY3CFI) é antigo amigo e incansável companheiro nas lutas pela causa do radioamadorismo. Em razão dessa mesma amizade, porém, aceitei a difícil tarefa, com o orgulho de quem pode colaborar com o cultivo de ideal tão nobre.

Gostaria de poder evitar o lugar-comum, ao afirmar que este trabalho vem preencher uma lacuna como material de referência e na preparação de radioamadores. Mas a verdade é que no Brasil, essa espécie de obra, quando encontrada, ou é incompleta (embora louvável, como as sinopses de cursos preparatórios) ou é demasiadamente complexa (como os compêndios destinados ao uso acadêmico).

Em seu consagrado bom senso, PY3CFI procurou o equilíbrio entre esses extremos, elaborando uma obra visivelmente calcada nos princípios e leis que regem os assuntos abordados. A linguagem e a didática empregadas, no entanto, demonstram a preocupação do autor para com o real objetivo do trabalho: propiciar o conhecimento a qualquer interessado, de uma forma acessível a todos.

Não foram poucas as horas de pesquisa e muitos foram os colaboradores. A dedicação, como costuma acontecer nesse tipo de empreendimento, causou os inevitáveis transtornos no ritmo da vida familiar e até mesmo na atividade profissional do autor. Mas o produto desse esforço, com certeza, é uma das raras boas notícias para o nosso combalido radioamadorismo, uma ferramenta tão necessária aos atuais e futuros praticantes dessa atividade quanto à abnegação daqueles que participaram, direta ou indiretamente, do projeto.

A presente obra é fruto de um trabalho de amor e dedicação, produto característico de quem faz o que gosta e gosta do que faz, um caso típico de idealismo. Chega em boa hora e vai ser muito útil. O radioamadorismo brasileiro agradece.

Odi Melo, PY3BC

## **APRESENTAÇÃO**

O presente trabalho fundamentado na nossa experiência de vários anos, dedicada ao ensino de radioeletricidade para candidatos aos exames oficiais de ingresso e promoção ao Serviço de Radioamador, compõe-se de:

Primeira parte: Exames de ingresso à classe B

Segunda parte: Exames de promoção à classe A (complementação).

### **JUSTIFICATIVA:**

A matéria aqui exposta é preparada seguindo-se rigorosamente ao exposto na NORMA DE EXECUÇÃO DO SERVIÇO DE RADIOAMADOR, N° 31/94.

Do seu conteúdo deverão ser preparados testes de conhecimentos técnicos constantes de 20 questões a serem respondidas em prova com duração de 60 minutos, como prevê o apêndice 5, cap. 4 II (classe A) e 4 III (classe B).

Nota-se que a maior parte da matéria exigida para a classe A é a mesma exigida para a classe B, observado o grau de dificuldade de cada classe, como cita o capítulo 3 II do apêndice 5 e acrescida uma complementação.

Note-se também que, nas questões propostas, o candidato a exame deverá:

Descrever, com palavras ou figuras, explicar, definir, estabelecer diferenças, mencionar, calcular (resolver problemas), usar equações ou códigos (de cores), citar experimentos, etc...

### **ORIENTAÇÃO:**

As definições e conceitos aqui apresentados podem, algumas vezes, não coincidir exatamente com os da física clássica, assumindo, portanto, conotações de caráter eminentemente técnico, prático e experimental, tendo em vista o fim a que se destinam e a heterogeneidade de formação básica dos candidatos.

O autor agradece, antecipadamente, a todos aqueles que puderem contribuir com críticas ou sugestões visando aprimoramento ou até correções a serem feitas, quando for o caso.

No decorrer da exposição da matéria são inseridos exercícios ou problemas *exclusivamente* a título de exemplo, ficando aos cuidados do candidato a exames, a solução de problemas ou exercícios complementares.

As figuras, desenhos, gráficos, diagramas de blocos, fórmulas (equações) e outros recursos gráficos apresentados, são fundamentais e, quando corretamente apresentados na prova, muito auxiliarão o candidato a exame nas respostas das questões

Na parte final deste trabalho, indicaremos a bibliografia de referência.



*Aos colegas, sem cuja colaboração pouco ou nada teria sido feito:*

ALBERTO Volkmar Christensen - **PY3ACC** - *Apoio e revisão.*

DANTE Vanderlei Efrom- **PY3ET** - *Pesquisa em Satélites.*

DARCY Antero Alves - **PY3TK** - *Apoio.*

João GHIGNATTI - **PY3AII** - *Apoio.*

MOÊMA Rodrigues Trein - **PY3GAB** - *Apoio e elaboração gráfica.*

ODI Melo - **PY3BC** - *Apoio e pesquisa geral.*

Paulo Henrique TREIN – **PY3ICO** – *Desenho.*

*...nosso reconhecido agradecimento*

ANDRÉ – **PY3CFI**

## ÍNDICE

Prefácio.....	3
Apresentação.....	5

### PRIMEIRA PARTE

#### RADIOELETRICIDADE - CLASSE "B"

1. Descrição de um Modelo simples para o Átomo e as Moléculas.....	11
2. Noção de Carga Elétrica.....	12
3. Ionização e Recombinação.....	12
4. Estado Elétrico de um Corpo.....	13
5. Fontes de Eletricidade.....	15
6. Corrente Elétrica - o Ampère.....	16
7. Diferença de Potencial (Elétrico).....	17
8. Resistência Elétrica.....	19
9. Condutores e Isolantes.....	20
10. Relação entre Corrente - Tensão - Resistência.....	21
11. Resistores associados em série.....	22
12. Resistores associados em paralelo.....	22
13. Associação mista (série-paralelo) de Resistores.....	23
14. Código de Cores para Resistores.....	24
15. Corrente Elétrica e seus Condutores.....	25
16. Fusíveis.....	25
17. Medição de Resistência Elétrica.....	26
18. Medição de Corrente.....	27
19. Medição de D.D.P. ou Tensão.....	27
20. Capacitores.....	28
21. Carga e Descarga de um Capacitor.....	29
22. Força Magnética.....	31
23. Linhas de Força Magnética.....	33
24. Funcionamento de um Eletroímã simples - o Relé.....	34
25. Indução Magnética em um Solenóide.....	35
26. Ação de uma Bobina num Circuito de Corrente Contínua.....	36
27. Conceito de Auto-indução.....	38
28. Corrente Alternada.....	39
29. Diferença entre Corrente Contínua -C.C. e Corrente Alternada -C.A.....	41
30. Funcionamento do Transformador.....	42
31. Diagrama de Blocos de uma Fonte de Corrente Contínua (regulada).....	44
32. Funcionamento de uma Válvula Diodo.....	45
33. Funcionamento de uma Válvula Triodo.....	48
34. Funcionamento de um Diodo Semicondutor.....	50
35. Modulação de uma Onda.....	53
36. Modulação por Amplitude.....	54
37. Modulação por Freqüência.....	54
38. Diferença entre Modulação de Dupla Faixa Lateral (DSB) e Faixa Lateral Simples (SSB).....	55
39. Diferença entre Linha de Transmissão Balanceada e Desbalanceada....	57
40. Funcionamento de uma Antena.....	58
41. Dimensionamento de uma Antena Dipolo de Fio.....	62
42. Noções de Impedância.....	64

43. Impedância de Circuitos em Série.....	67
44. Impedância de Circuitos em Paralelo.....	69
45. Relação de Ondas Estacionárias em uma Linha de Transmissão -Conceito.....	70
46. Camadas da Ionosfera responsáveis pela Reflexão dos Sinais de Rádio.....	72
47. Oscilações Elétricas Livres.....	75
48. Oscilações Forçadas e Ressonância.....	84
49. Comprimento (Frequência - Velocidade de Propagação - Amplitude) de uma Onda.....	87
50. Noção de Movimento de Ondas.....	90
51. Ondas Longitudinais e Ondas Transversais.....	91
52. Interferência.....	91
53. Reflexão e Refração de Ondas de Rádio.....	92

## **SEGUNDA PARTE**

### **RADIOELETRICIDADE - CLASSE "A"**

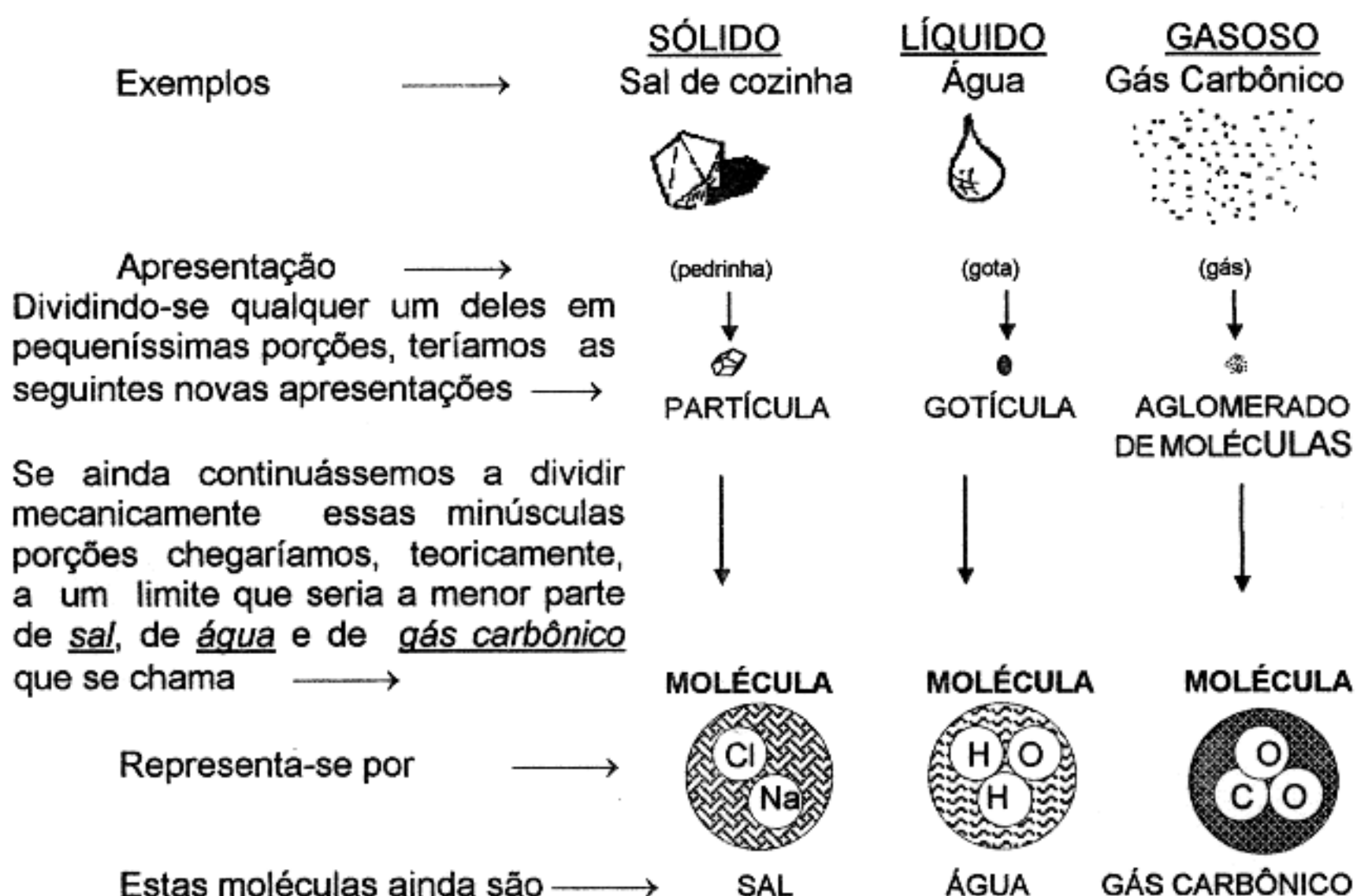
1. Boa Condutividade dos Metais em função de sua estrutura molecular.....	95
2. Lei de Joule.....	96
3. Relação entre resistência, resistividade, comprimento e área da secção reta de um condutor.....	101
4. Corrente e Tensão efetivas relacionadas com Corrente e Tensão de Pico.....	102
5. Corrente gerada em um semicondutor sujeito a uma tensão.....	103
6. Funcionamento do Transistor no papel de uma Resistência de Controle de Corrente.....	104
7. Funcionamento do Transistor em Circuito Simples de Amplificação de Sinal.....	108
8. Símbolos dos principais Semicondutores.....	111
9. Características e funcionamento de uma Antena Dipolo e de uma Antena Vertical de $\frac{1}{4}$ de Onda.....	112
10. Identificação do Sistema de Polarização dos tipos das Antenas mais usados.....	112
11. Uso dos Satélites Artificiais em Telecomunicações.....	114
12. Determinação experimental do Comprimento de Onda, Frequência, Velocidade de Propagação e Amplitude de uma Onda.....	126
13. Efeito Doppler.....	129

# PRIMEIRA PARTE

## RADIOELETRICIDADE - CLASSE B

### 1. DESCRIÇÃO DE UM MODELO SIMPLES PARA O ÁTOMO E AS MOLÉCULAS

A *matéria* sempre se apresenta num dos principais estados (ou fases):



Todas as **moléculas** são constituídas de partes ainda menores mas com propriedades diferentes que são os **átomos**.

A figura anterior mostra que a **molécula** de sal é formada por dois **átomos** um de cloro e outro de sódio. O cloro (Cl) é um gás (que serve para esterilizar a água que bebemos). O sódio (Na) é um elemento químico que reage violentamente com a água, gerando grande aquecimento e formando soda cáustica.

A mesma figura, também mostra a **molécula** de água formada por 3 **átomos**, dois de hidrogênio e um de oxigênio.

O hidrogênio é um gás explosivo e o oxigênio (do ar) ajuda o fogo a queimar melhor os combustíveis.

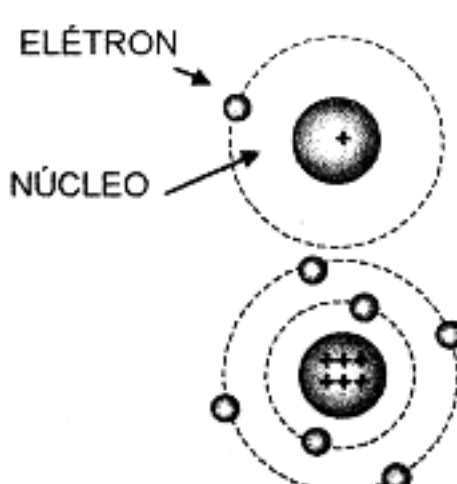
Vê-se ainda, na mesma figura, que a **molécula** de gás carbônico é constituída de 3 **átomos**, dois de oxigênio (que você já conhece) e um de carbono, elemento contido nos animais e nos vegetais.

Portanto, podemos escrever que:

"Os átomos que formam moléculas possuem propriedades diferentes destas".  
Mas os **átomos**, por sua vez, são constituídos de partes ainda menores, que são:

O **núcleo** e os **elétrons**.

Por exemplo:



ELÉTRON

NÚCLEO

O ÁTOMO DE HIDROGÊNIO TEM APENAS UM ELÉTRON EM UMA ÚNICA CAMADA (ÓRBITA).

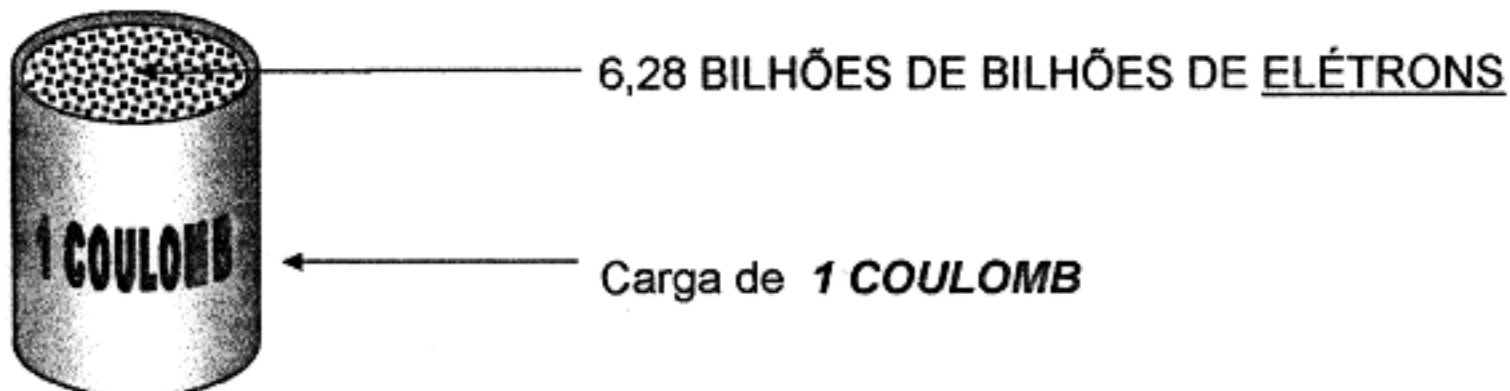
O ÁTOMO DE CARBONO TEM 6 ELÉTRONS: 2 NA PRIMEIRA CAMADA E 4 NA CAMADA MAIS EXTERNA

O ELÉTRON possui CARGA NEGATIVA.

## 2. NOÇÃO DE CARGA ELÉTRICA

A **carga elétrica** corresponde a uma quantidade de **elétrons**.

A unidade prática de **carga elétrica** chama-se **Coulomb** e equivale a:

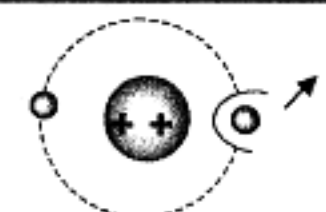


No *núcleo* do átomo há tantas cargas *positivas* quantos são os seus elétrons.

## 3. IONIZAÇÃO E RECOMBINAÇÃO

Os *elétrons* das camadas mais externas do átomo são os mais fáceis de serem deslocados, por isso são chamados **elétrons livres**.

Como já vimos anteriormente, o número de **cargas positivas** (ou prótons) do átomo é igual ao seu número de elétrons ou **cargas negativas** por isso o **átomo está neutro**.

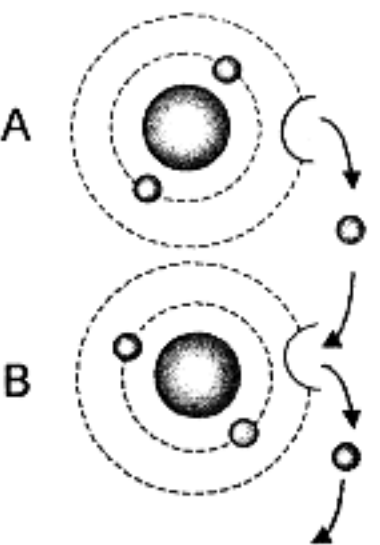


Mas, se por qualquer causa, um elétron de um átomo for deslocado do mesmo, dizemos que o átomo ficou com CARGA POSITIVA ou transformou-se em um ÍON.

Logo, o **íon** (positivo) é um átomo cuja carga de **elétrons** está incompleta.



Mediante determinadas condições, pode acontecer o que a seguinte figura indica:



The diagram shows two atoms, A and B, each with a central nucleus and two concentric electron shells. In the first stage, an arrow indicates an electron moving from the outer shell of atom B to the outer shell of atom A. In the second stage, atom B is shown with only one electron in its outer shell, and atom A has two. In the third stage, an arrow shows an electron moving from the outer shell of atom A to the outer shell of atom B, returning both to their original state.

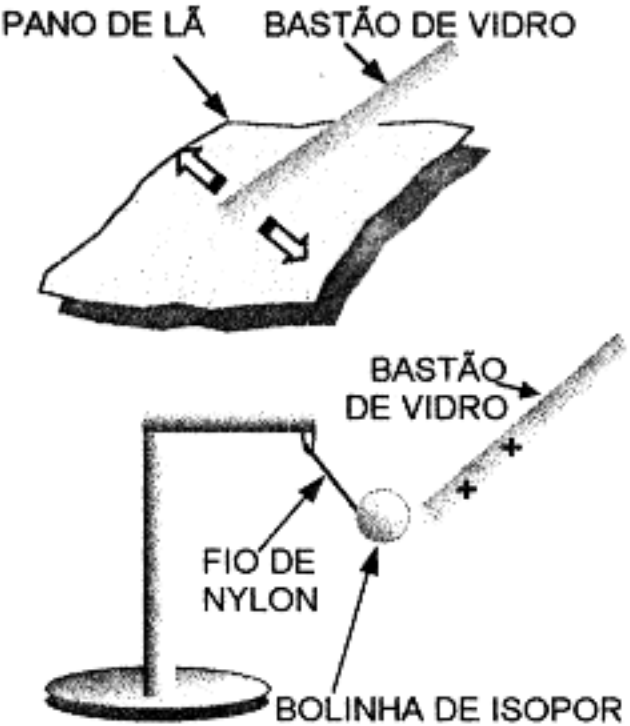
- 1) O átomo B perde seu elétron da última camada que é atraído por outro átomo.
- 2) O átomo B então se transforma instantaneamente em um íon (positivo).
- 3) Imediatamente o íon B atrai o elétron (da última camada) do átomo A, que se transforma em um íon positivo. Este íon "A" provavelmente irá atrair outro elétron externo.

### CONCLUSÃO:

Cada vez que um íon readquire o seu elétron perdido, transformando-se novamente em um átomo neutro, dizemos que houve uma recombinação.

## 4. ESTADO ELÉTRICO DE UM CORPO

### 1ª EXPERIÊNCIA:



The diagram illustrates an experiment. The top part shows a glass rod (BASTÃO DE VIDRO) being rubbed against a piece of wool (PANO DE LÃ). The bottom part shows the charged glass rod (marked with a '+') attracting a small isopor ball (BOLINHA DE ISOPOR) suspended by a thin nylon thread (FIO DE NYLON).

Atritando-se um bastão de vidro sobre um pano de lã, ele se **carrega** com eletricidade positiva, isto é, **perde elétrons**.

Diz-se que o vidro se *eletrizou positivamente* com **eletricidade positiva** ou **vítrea**.

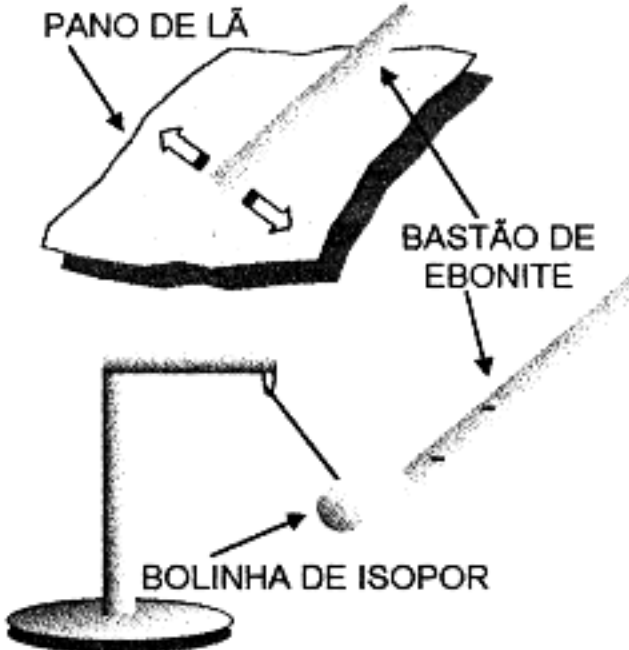
Este bastão, assim eletrizado, é capaz de atrair uma pequena bolinha de isopor suspensa por um finíssimo fio de nylon, ou pequenos pedaços de papel.

Ao *tocar* no bastão de vidro, a bolinha de isopor também se **carrega** com eletricidade positiva

Podemos então dizer que o vidro *retirou elétrons* da bolinha de isopor que era neutra.

Por outro lado, estes elétrons (retirados da bolinha), ao chegarem no vidro, *neutralizaram* algumas cargas positivas deste.

## 2ª EXPERIÊNCIA:



PANO DE LÃ

BASTÃO DE EBONITE

BOLINHA DE ISOPOR

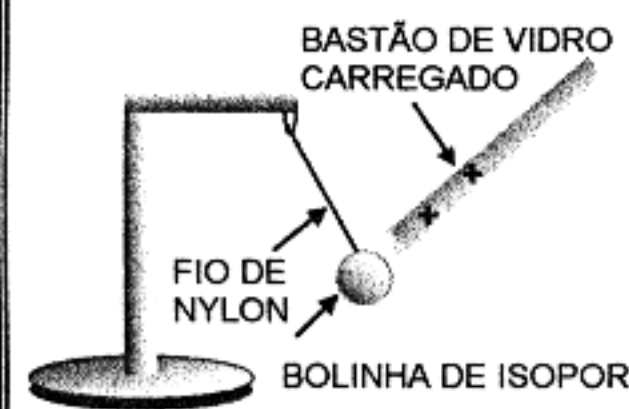
Se atritarmos um bastão de ebonite ou pente, sobre um pano de lã ele se **carrega** com eletricidade negativa, isto é, **capta elétrons** da lã.

Aproximando-se este bastão de uma bolinha de isopor descarregada (*neutra*) ele atrai a bolinha.

Quando a bolinha de isopor toca no bastão carregado ela também se **carrega** com eletricidade negativa.

Neste caso, podemos dizer que o bastão de ebonite cedeu elétrons à bolinha, ficou (menos negativo) com sua *carga negativa reduzida*.

## 3ª EXPERIÊNCIA



BASTÃO DE VIDRO CARREGADO

FIO DE NYLON

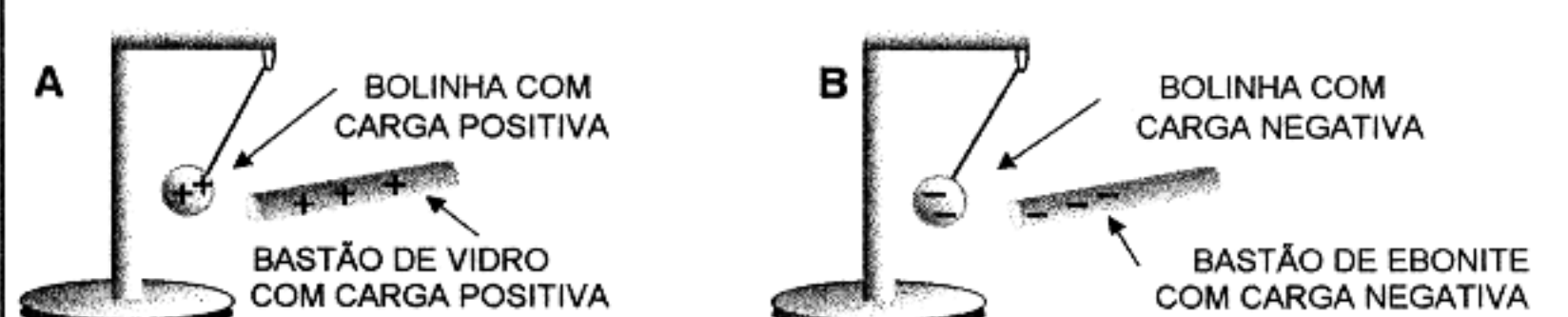
BOLINHA DE ISOPOR

Aproxime o bastão de vidro carregado com **carga positiva** (1ª experiência) da bolinha de isopor com **carga negativa**, (2ª experiência), e veja que o bastão de vidro carregado **atrai** a bolinha.

A conclusão é a *primeira lei fundamental da eletricidade*.

**"CARGAS ELÉTRICAS DE NOMES CONTRÁRIOS, SE ATRAEM"**

## 4ª EXPERIÊNCIA



A

BOLINHA COM CARGA POSITIVA

BASTÃO DE VIDRO COM CARGA POSITIVA

B

BOLINHA COM CARGA NEGATIVA

BASTÃO DE EBONITE COM CARGA NEGATIVA

As figuras da 4ª experiência (A e B) mostram duas *repulsões* e permitem concluir a *segunda lei fundamental da eletricidade*:

**"CARGAS ELÉTRICAS DE MESMO NOME, SE REPELEM".**

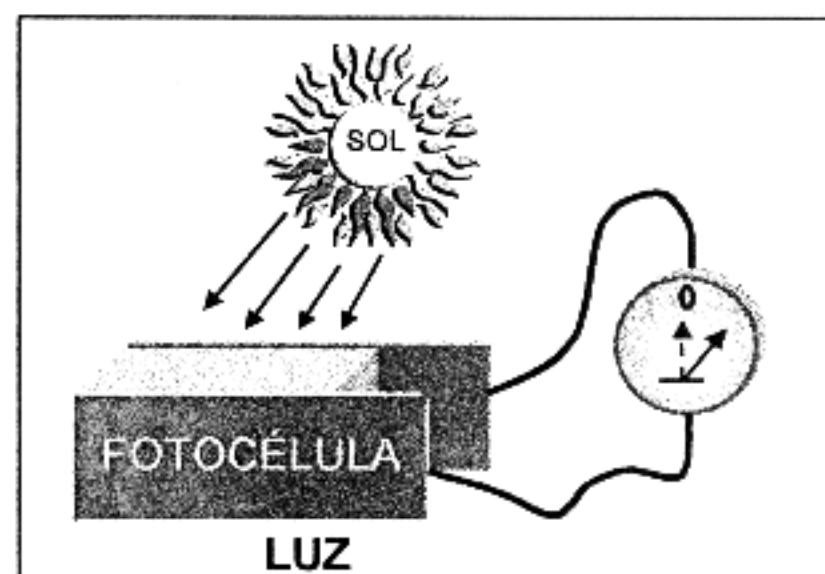
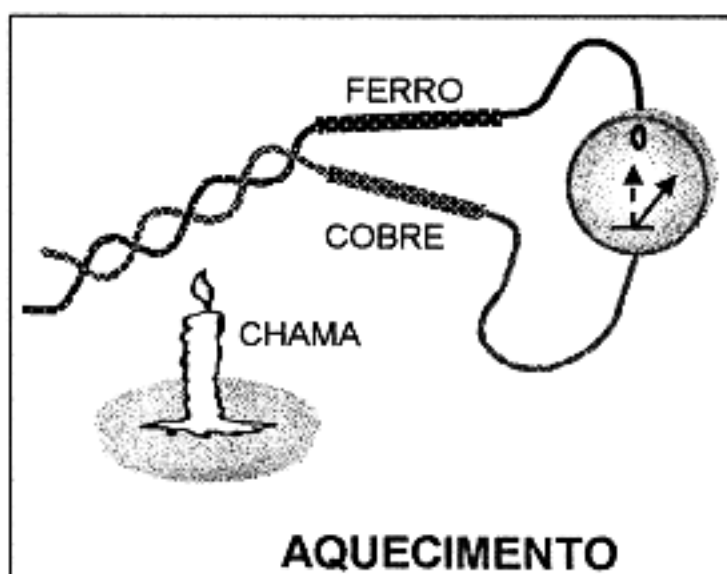
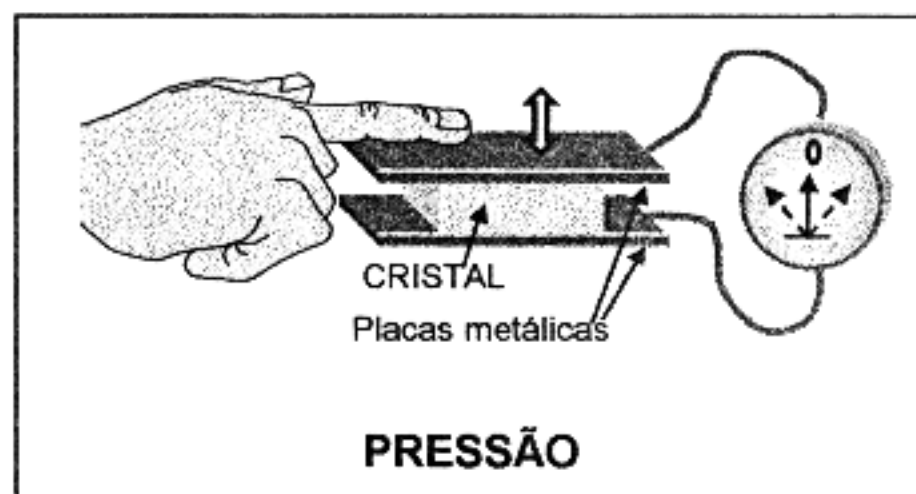
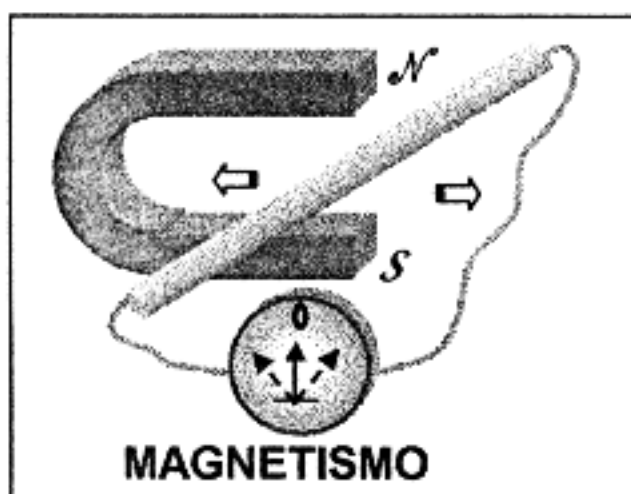
Vemos pois que o estado elétrico de um corpo está relacionado com o conceito de carga elétrica podendo-se, ainda, concluir o seguinte:

- I - UM CORPO CARREGADO POSITIVAMENTE (COM CARGA POSITIVA) TEM FALTA DE ELÉTRONS;
- II - UM CORPO CARREGADO NEGATIVAMENTE (COM CARGA NEGATIVA) TEM EXCESSO DE ELÉTRONS;
- III - UM CORPO DESCARREGADO (NEUTRO) NÃO TEM FALTA NEM EXCESSO DE ELÉTRONS E PODE ACEITAR CARGAS POSITIVAS (CEDER ELÉTRONS), OU ACEITAR CARGAS NEGATIVAS (RECEBER ELÉTRONS).

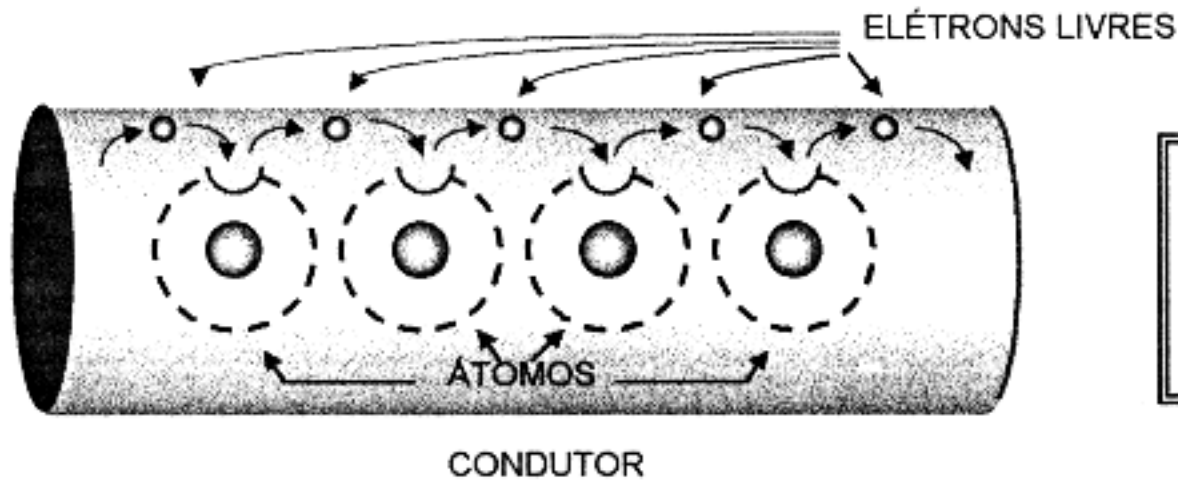
## 5. FONTES DE ELETRICIDADE

Podemos dizer que eletricidade é o efeito do movimento de elétrons de um ponto para outro.

CONSEGUIMOS GERAR ELETRICIDADE, POR:



## 6. CORRENTE ELÉTRICA - O AMPÈRE



- Os elétrons estão em movimento, saltando de um átomo para outro

Já vimos que os **elétrons livres** são os que se deslocam com mais facilidade. Também sabemos que:

- Uma corrente de água é água movimentando-se num sentido.
  - Uma corrente humana é um movimento de pessoas num determinado sentido.
- Logo:

**UMA CORRENTE ELÉTRICA É UM MOVIMENTO DE ELÉTRONS**

ou

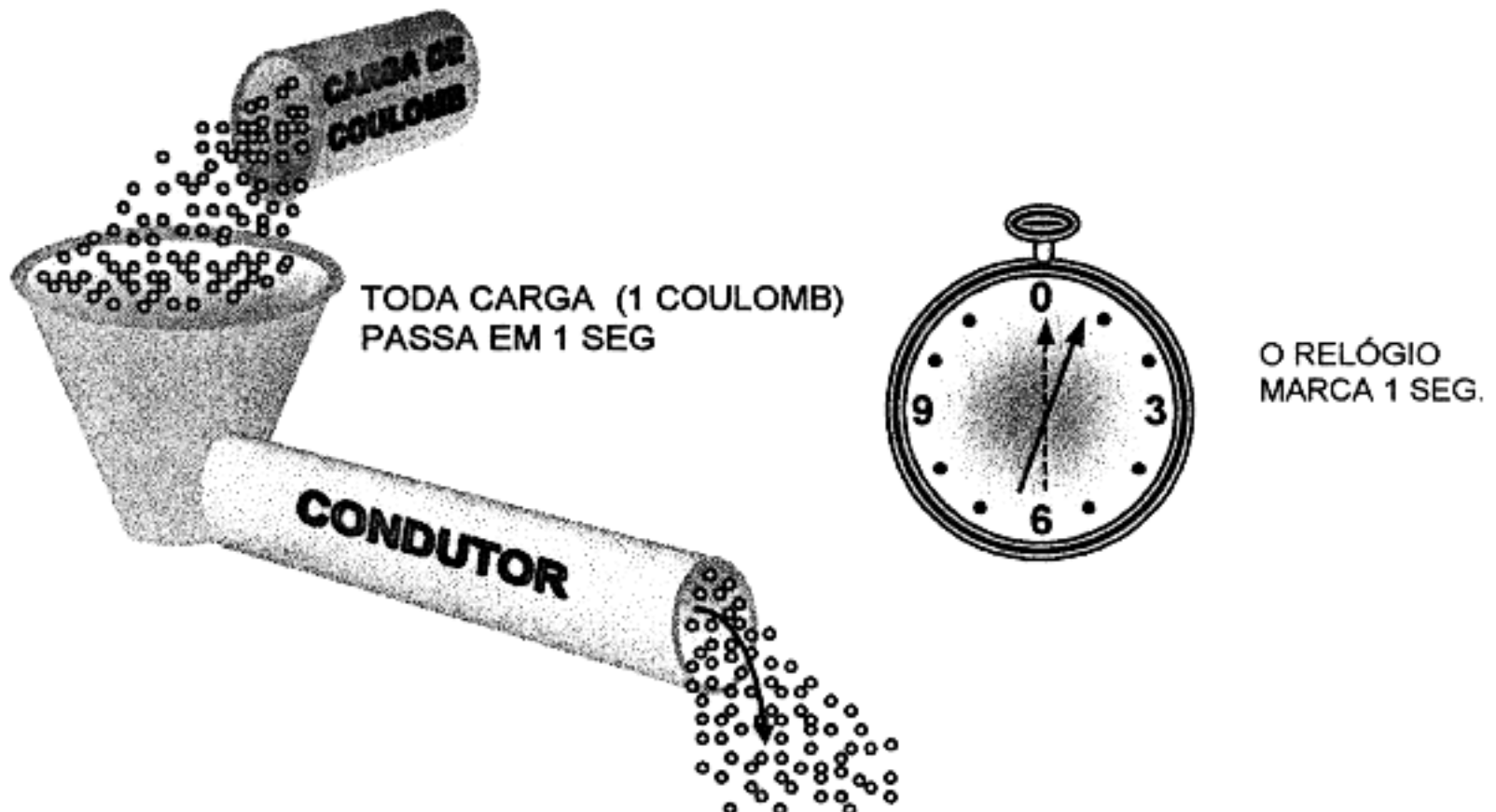
**UM MOVIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS**

Como já vimos anteriormente (cap. 2).

**UM COULOMB** = 6,28 BILHÕES DE BILHÕES DE ELÉTRONS

UNIDADE PRÁTICA DE CARGA ELÉTRICA

Vamos estudar agora a *unidade de corrente elétrica*, que se chama **ampère**, cujo símbolo é a letra **A**.



A corrente é de 1 ampère ou 1 A que corresponde à passagem da carga de 1 coulomb no tempo de 1 segundo.

Escreve-se:

$$1A = \frac{1 \text{ coul}}{1 \text{ SEG}}$$

Existem unidades menores ou *submúltiplos* do ampère, que são:

(NOME)	(SÍMBOLO)	(VALOR)
MILIAMPÈRE	mA	0,001 A
MICROAMPÈRE	$\mu$ A	0,000001 A


letra grega --> micrón

ou seja:

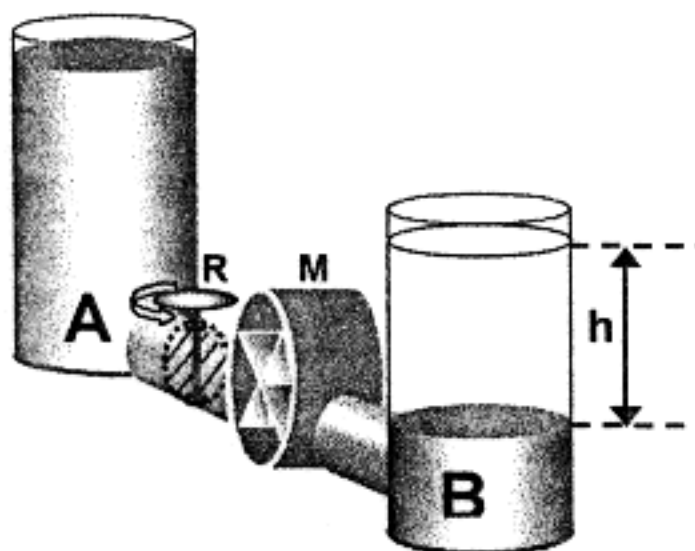
$$1 \text{ A} = 1.000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ A} = 1.000.000 \mu\text{A}$$

**Amperímetro** é um aparelho que serve para medir *corrente elétrica*.

Representa-se por 

## 7. DIFERENÇA DE POTENCIAL (ELÉTRICO)



Na figura ao lado temos dois reservatórios de água, A e B, que se comunicam. O registro R está fechado e o molinete M está parado.

A **diferença de potencial** hidráulico é dada pela altura h entre os dois níveis de água.

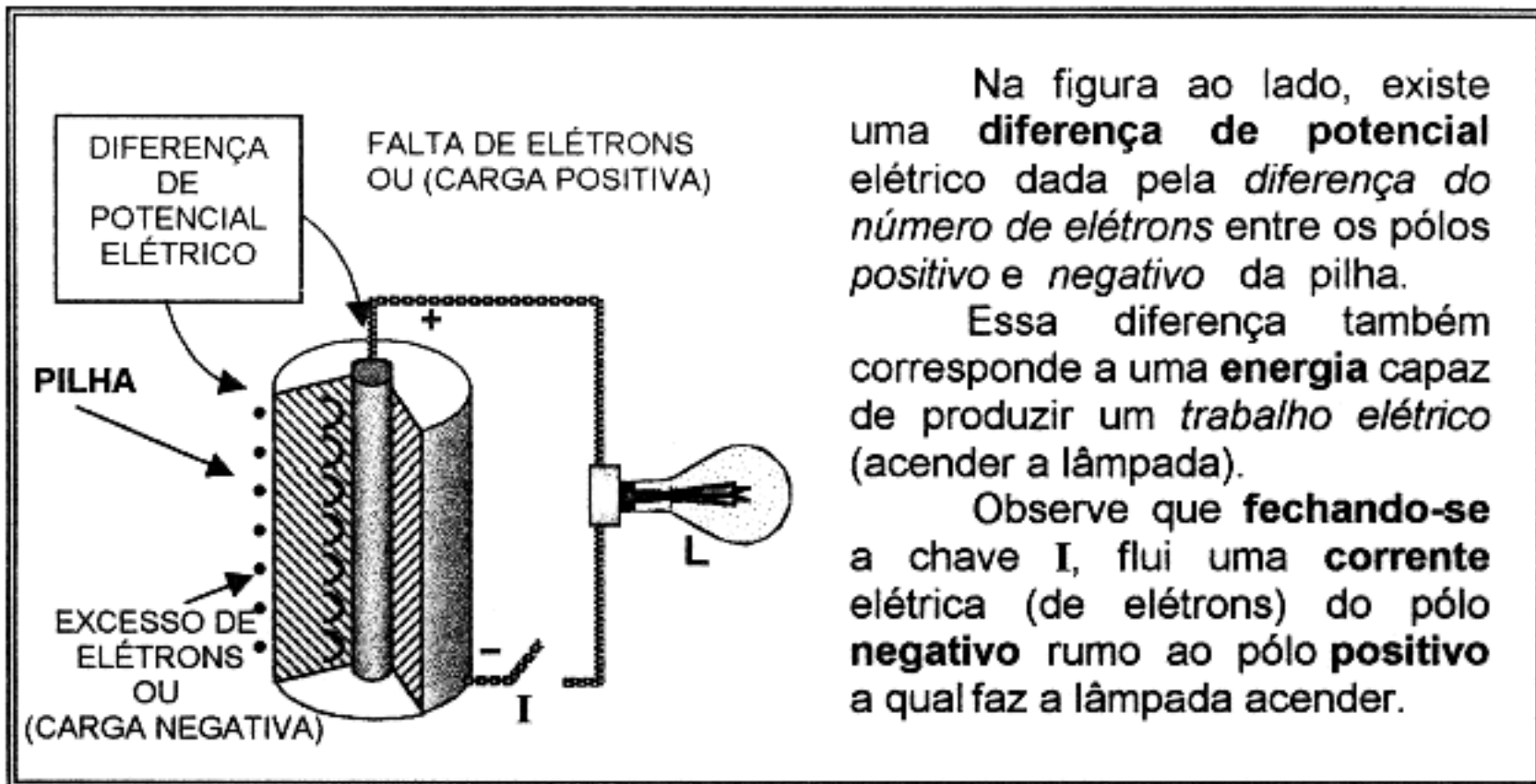
Essa *diferença de potencial* hidráulico corresponde a uma **energia** capaz de produzir um *trabalho hidráulico* (  $\longrightarrow$  movimentar o molinete M).

Observe-se que, **abrindo-se** o registro R, flui uma **corrente** de água do reservatório "A" para o reservatório "B" a qual produz *movimento* no molinete M.

Quando a **diferença de nível** ou **de potencial** chegar a zero, isto é, a água ficar no mesmo nível em ambos os reservatórios, cessará a **corrente** de água e o molinete ficará **parado**.



Em eletricidade temos:



Na figura ao lado, existe uma **diferença de potencial** elétrico dada pela *diferença do número de elétrons* entre os pólos *positivo e negativo* da pilha.

Essa diferença também corresponde a uma **energia** capaz de produzir um *trabalho elétrico* (acender a lâmpada).

Observe que **fechando-se** a chave I, flui uma **corrente** elétrica (de elétrons) do pólo **negativo** rumo ao pólo **positivo** a qual faz a lâmpada acender.

Da mesma forma anterior, quando a **diferença de quantidade de elétrons** ou **de potencial elétrico** chegar a zero, isto é, o número de elétrons dos pólos *positivo e negativo* se igualarem, cessará a **corrente** elétrica e a lâmpada "L" se **apagará**.

A *força elétrica* que produz a *corrente elétrica* (movimento de elétrons) no condutor chama-se **força eletromotriz**, que se abrevia por **F.E.M.** .

Podemos dizer (ao nível do nosso curso) que os nomes:

- DIFERENÇA DE POTENCIAL  $\longrightarrow$  D.D.P.
- FORÇA ELETROMOTRIZ  $\longrightarrow$  F.E.M.
- TENSÃO e \*(voltagem)

possuem o mesmo significado e têm como *unidade principal* o *volt* cujo símbolo é a letra "**V**".

Existem múltiplos e submúltiplos do **volt** como, por exemplo:

- Múltiplo	Símbolo	Valor
QUILOVOLT	KV	1.000 V
- Submúltiplos		
MILIVOLT	mV	0,001 V
MICROVOLT	$\mu$ V	0,000001 V

ou

$$1 \text{ V} = 1.000 \text{ mV} = 1.000.000 \text{ } \mu\text{V}$$

**Voltímetro** é um aparelho que serve para medir *tensão*, D.D.P. ou F.E.M.

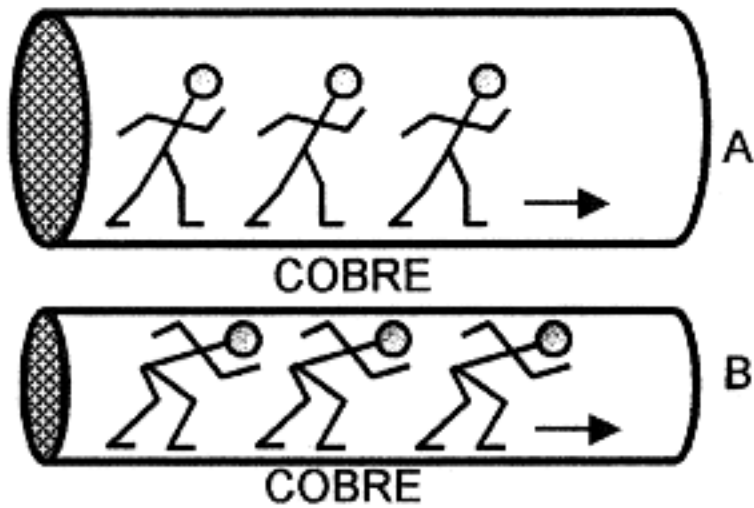
Representa-se por

\* Expressão incorretamente usada.

## 8. RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A palavra resistência significa: *dificuldade* ou *oposição*.

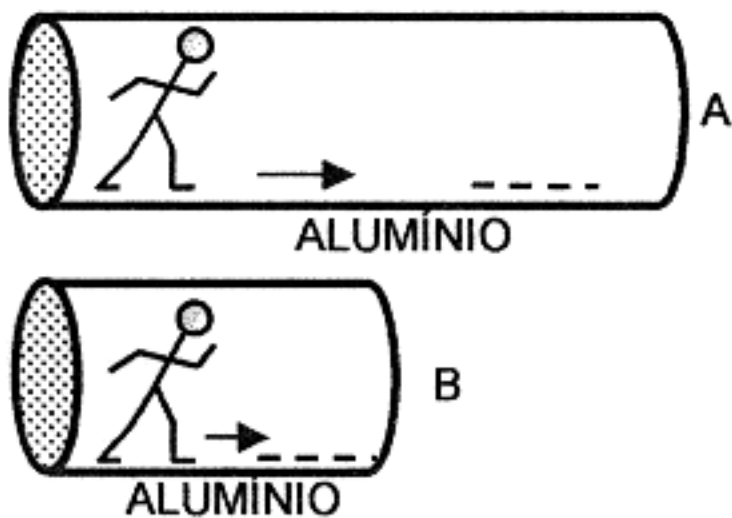
Em eletricidade, **resistência elétrica** quer dizer a *dificuldade* ou *oposição* que um determinado condutor oferece à passagem da *corrente elétrica*.



Os dois condutores ao lado são do *mesmo material* e do *mesmo comprimento*.

Mas no condutor "B" os elétrons passam com mais dificuldade que no condutor "A", por que o condutor "B" é de menor diâmetro.

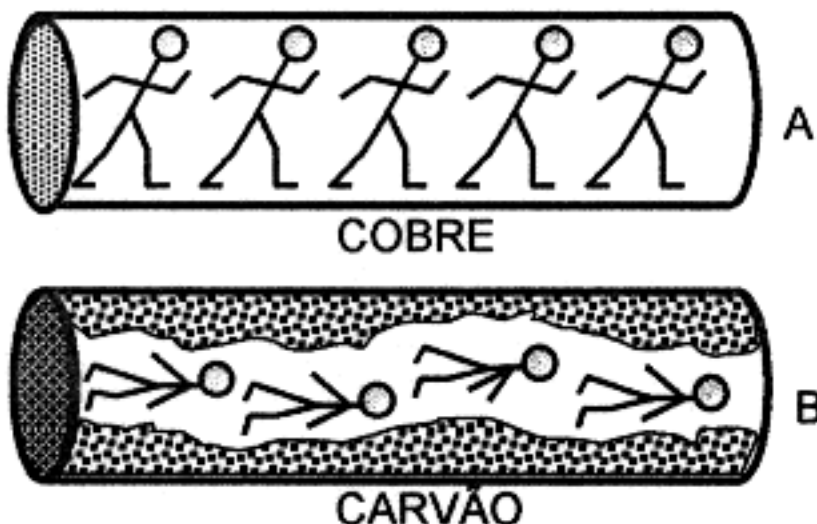
Logo, o condutor "B" oferece **maior resistência** à passagem da *corrente de elétrons*.



Observe que os dois condutores ao lado são do *mesmo material* e do *mesmo diâmetro*.

Para percorrer o condutor "A", cada elétron terá mais dificuldade por que o *trajeto* é maior que no condutor "B".

Logo, o condutor "A" oferece **maior resistência** à passagem da corrente, em relação ao condutor "B".



Agora, os dois condutores "A" e "B" são do *mesmo diâmetro* e do *mesmo comprimento*, mas um é de *cobre* e o outro é de *carvão*.

O *carvão* oferece **maior resistência** do que o *cobre*.

Então podemos escrever:

A resistência de um condutor depende do seu

**DIÂMETRO**

↓  
GRANDE

↓  
MENOR RESISTÊNCIA

**COMPRIENTO**

↓  
GRANDE

↓  
MAIOR RESISTÊNCIA

**MATERIAL**

(ou NATUREZA)

↓  
MAIOR ou MENOR  
RESISTÊNCIA

A resistência tem como:

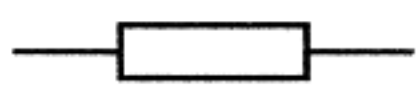
**Unidade principal** o **Ohm** cujo símbolo é a letra grega " $\Omega$ " (ômega).


Múltiplos	Símbolo	Valor
<i>Quilohm</i>	$K\Omega$	1.000 $\Omega$
<i>Megaohm</i>	$M\Omega$	1.000.000
Submúltiplo		
<i>Miliohm</i>	$m\Omega$	0,001 $\Omega$

Denominamos **resistor** o componente eletrônico (ou eletrotécnico) fabricado com determinado valor de resistência.

O **resistor** é o componente eletrônico (passivo).

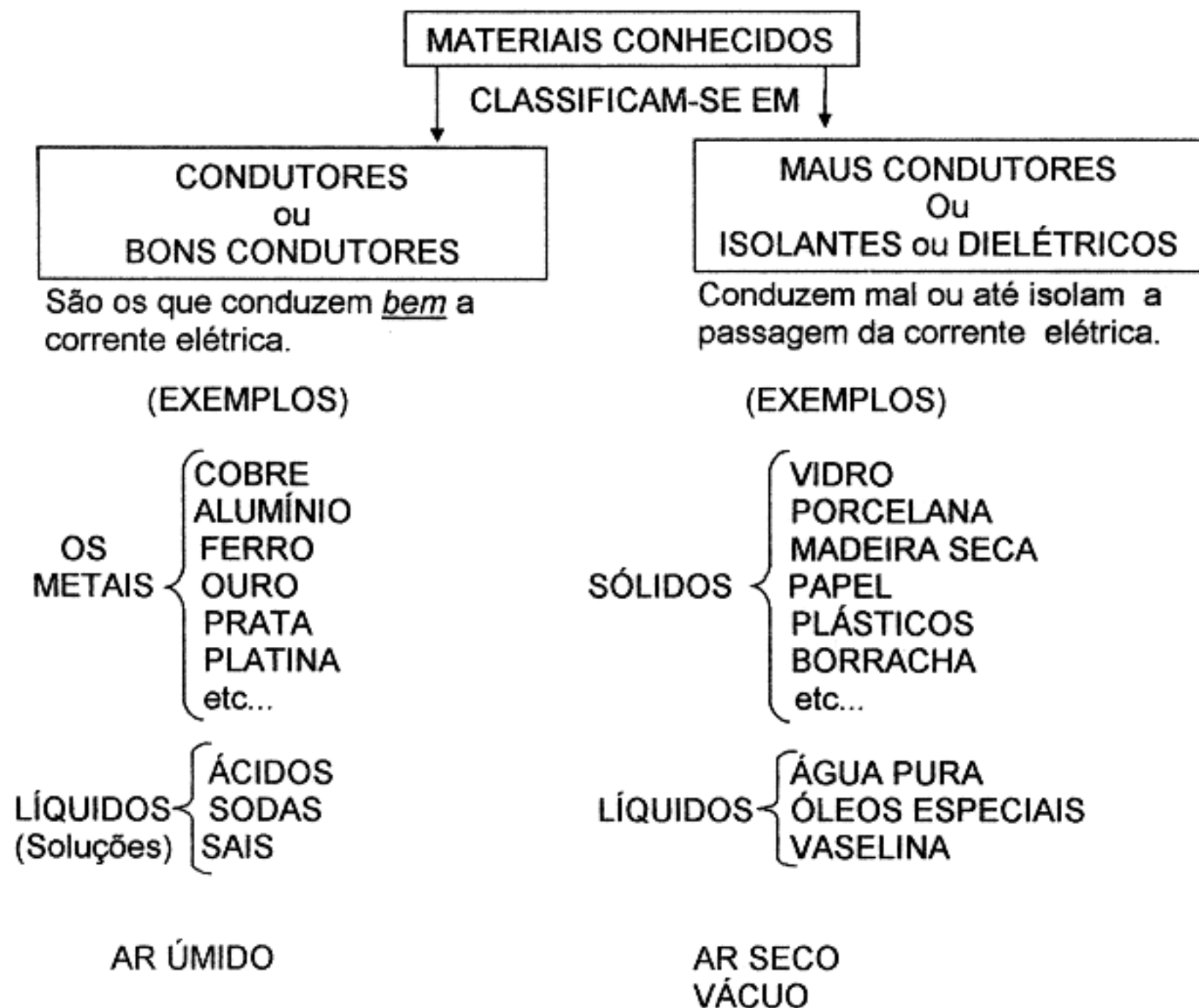
A **resistência** é a propriedade que o resistor possui.

 Esta é a representação gráfica atual ou **símbolo** do resistor.

 Representação antiga, ainda adotada em alguns países.

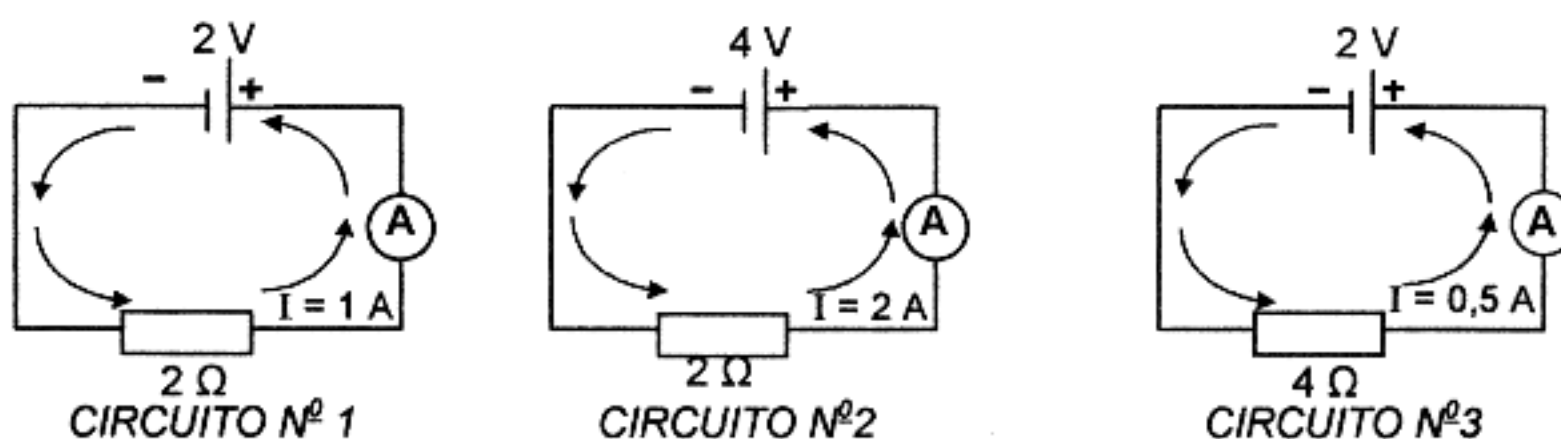
Um **ôhmetro** ou **ohmímetro** é um *aparelho* que serve para medir *resistência*.

## 9. CONDUTORES E ISOLANTES



## 10. LEI DE OHM

A relação entre:



Comparando-se os circuitos n<sup>os</sup> 1 e 2, temos:

No circuito n<sup>o</sup> 1 temos uma tensão = 2 v e um resistor = 2Ω; a corrente medida no amperímetro: I = 1 A.

No circuito n<sup>o</sup> 2 o resistor = 2 Ω é o mesmo do circuito n<sup>o</sup> 1; a tensão = 4 v; a corrente medida no amperímetro: I = 2 A.

**1ª CONCLUSÃO: Mantendo-se a resistência constante, quanto maior a tensão, maior será a corrente.**

- Comparando-se os circuitos n<sup>os</sup> 1 e 3, resulta:

No circuito n<sup>o</sup> 3, a tensão = 2 v é a mesma do circuito n<sup>o</sup> 1; a resistência (do resistor) = 4 Ω; a corrente medida no amperímetro: I=0,5A.

**2ª CONCLUSÃO: Mantendo-se inalterada a tensão, quanto maior a resistência, menor será a corrente.**

Combinando a 1ª com a 2ª conclusão podemos dizer que, para um circuito (uma malha)

**A corrente cresce quando a tensão aumenta e diminui quando a resistência aumenta.**

OU

**O valor da corrente de um circuito (de uma malha) é diretamente proporcional à tensão e inversamente proporcional à resistência.**

Esta é a LEI DE OHM expressa matematicamente pela relação:

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{ou} \quad \text{CORRENTE} = \frac{\text{TENSÃO}}{\text{RESISTÊNCIA}}$$

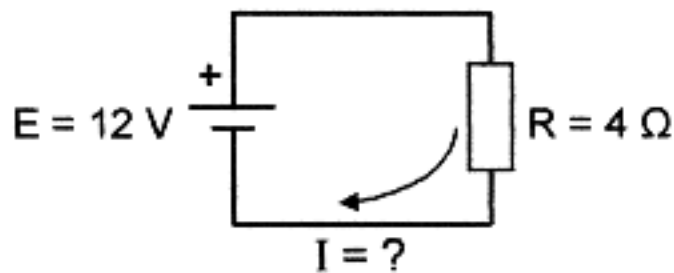
Para calcular I , E e R , usamos o lembrete:



Para calcular E, cobre-se o E com o dedo e fica  $E = R \times I$  ; da mesma forma, temos:

$$R = \frac{E}{I} \quad \text{e} \quad I = \frac{E}{R}$$

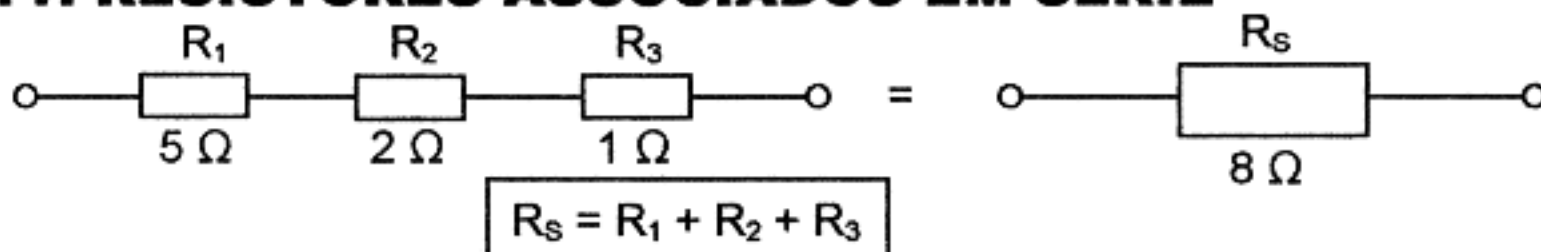
Exemplo:



$$I = \frac{E}{R} = \frac{12 \text{ V}}{4 \Omega} = 3 \text{ A}$$

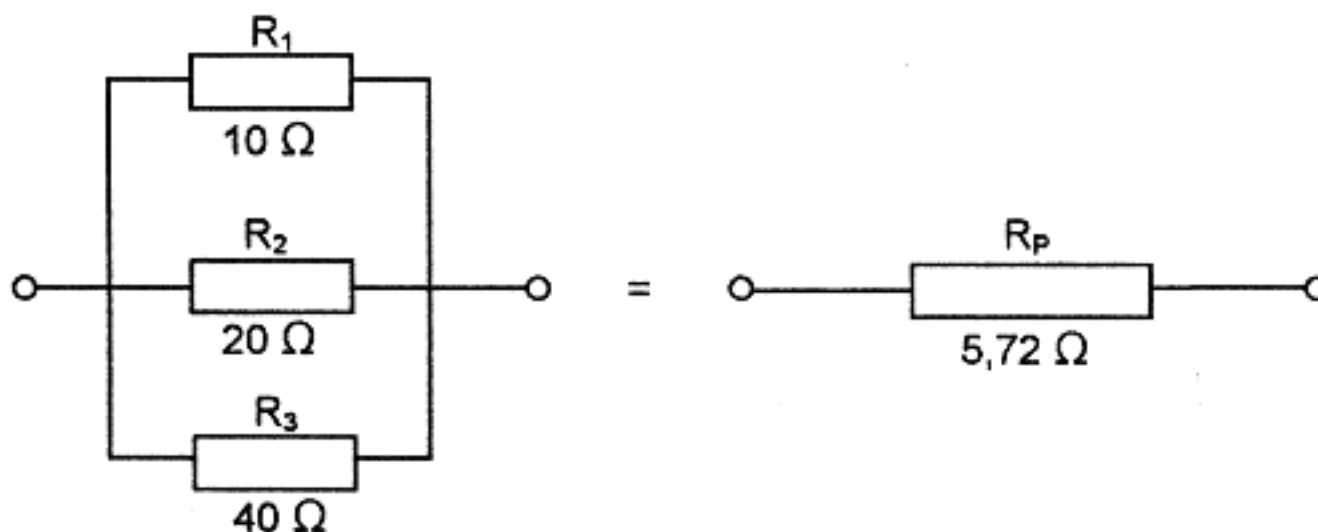
O valor da tensão E, seria:  
 $E = R \times I = 4 \Omega \times 3 \text{ A} = 12 \text{ V}$

## 11. RESISTORES ASSOCIADOS EM SÉRIE



O valor da série é a **soma** dos valores dos resistores dados.

## 12. RESISTORES ASSOCIADOS EM PARALELO



Calcula-se assim:  $R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$

$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40}} = \frac{1}{0,1 + 0,05 + 0,025} = \frac{1}{0,175} = 5,72 \Omega$$



O valor do paralelo é igual ao inverso da soma dos inversos dos valores dos resistores associados.

FÓRMULA: 
$$R_P = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

OBSERVAÇÕES: 1) O valor do paralelo é sempre menor do que o *menor* dos resistores.

2) Quando o paralelo for de apenas dois resistores,  $R_1$  e  $R_2$

$$R_P = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (B)$$

Neste caso, o valor do paralelo é igual ao *produto* dos valores dos resistores, dividido pela soma deles.

(Como mostra a fórmula B).

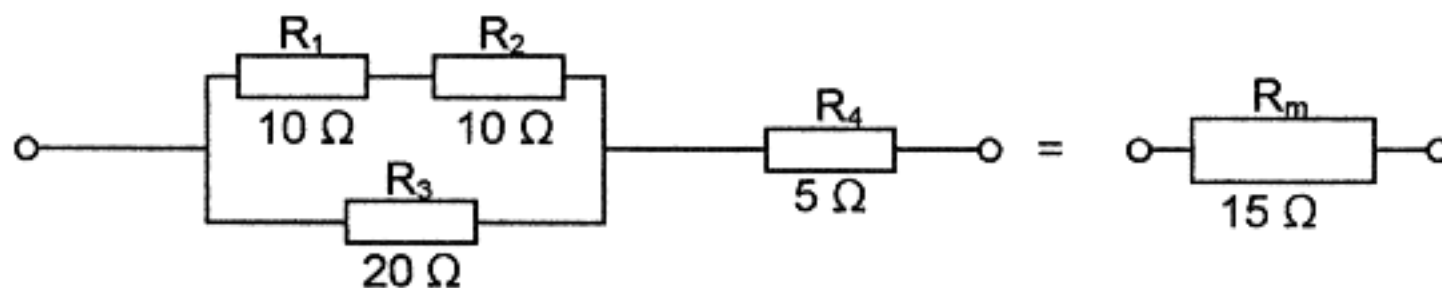
3) Quando o paralelo for de apenas dois resistores  $R_1$  e  $R_2$  de valores iguais, ( $R_1 = R_2$ )

$$R_P = \frac{R_1}{2}$$

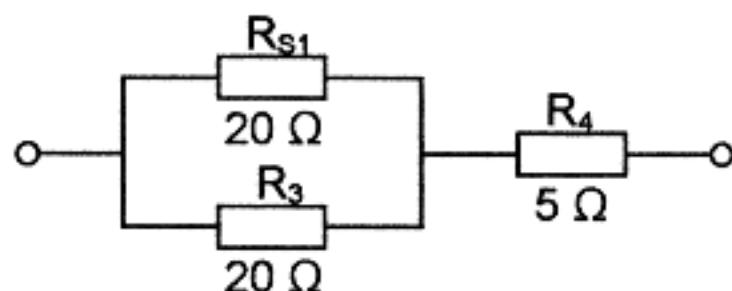
Neste caso, o valor do paralelo vale a metade do valor de um dos resistores.

Exemplo:  $R_1 = 50 \Omega$  e  $R_2 = 50 \Omega$   $R_P = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2} = \frac{50 \Omega}{2} = 25 \Omega$

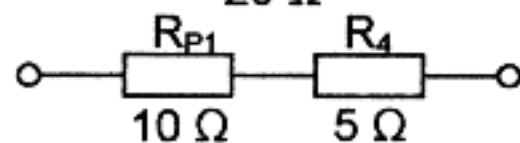
### 13. ASSOCIAÇÃO MISTA (SÉRIE-PARALELO) DE RESISTORES



$$R_{S1} = R_1 + R_2 = 10 \Omega + 10 \Omega \quad R_{S1} = 20 \Omega$$



$$R_{P1} = \frac{1}{\frac{1}{R_{S1}} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{20 \Omega} + \frac{1}{20 \Omega}} = 10 \Omega$$



$$R_m = R_{P1} + R_4 = 10 \Omega + 5 \Omega = 15 \Omega$$

Resolve-se por partes:

1º a série  $R_1 + R_2 = 10 \Omega + 10 \Omega = 20 \Omega$

2º o paralelo  $R_{S1} \quad R_3 = 10 \Omega$

3º a série  $R_{P1} + R_4 = 10 \Omega + 5 \Omega = 15 \Omega$

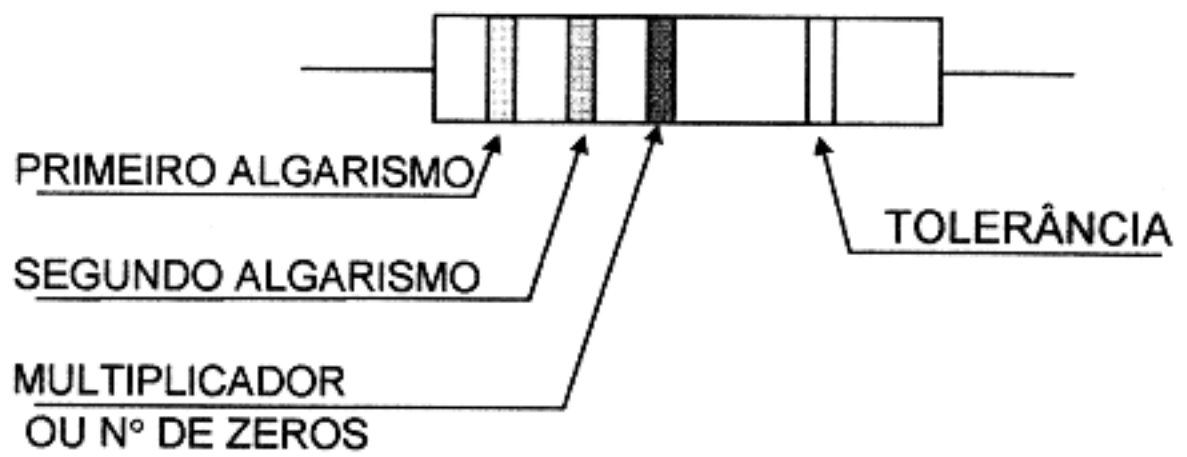
# 14. CÓDIGO DE CORES PARA RESISTORES

O valor da resistência de um resistor pode ser expresso pelo *código de cores*.  
As cores indicam *números ou multiplicadores*.

## CÓDIGO DO VALOR

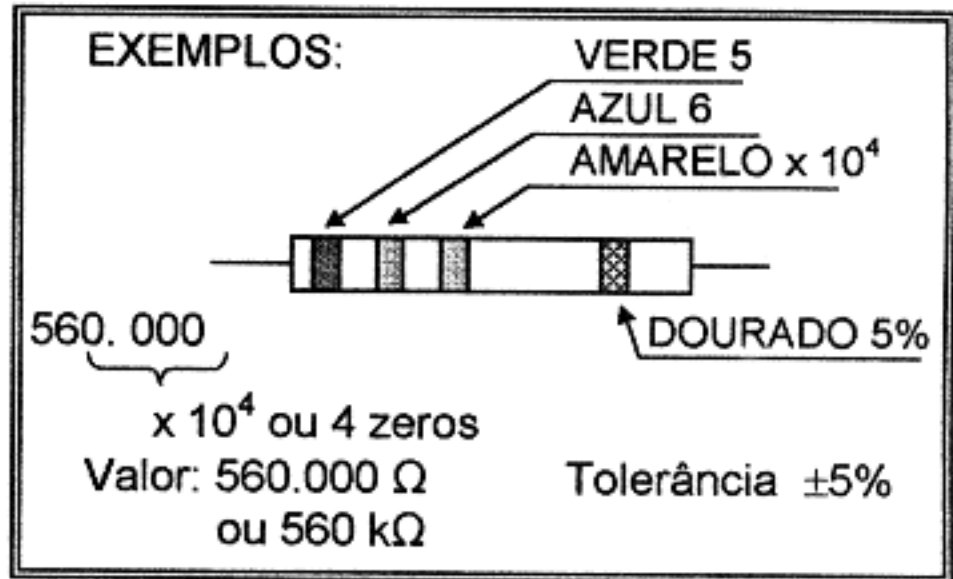
COR	Nº
PRETA	0
MARROM	1
VERMELHA	2
LARANJA	3
AMARELA	4
VERDE	5
AZUL	6
VIOLETA	7
CINZA	8
BRANCA	9

## MODO DE LER O VALOR



## CÓDIGO DE TOLERÂNCIA

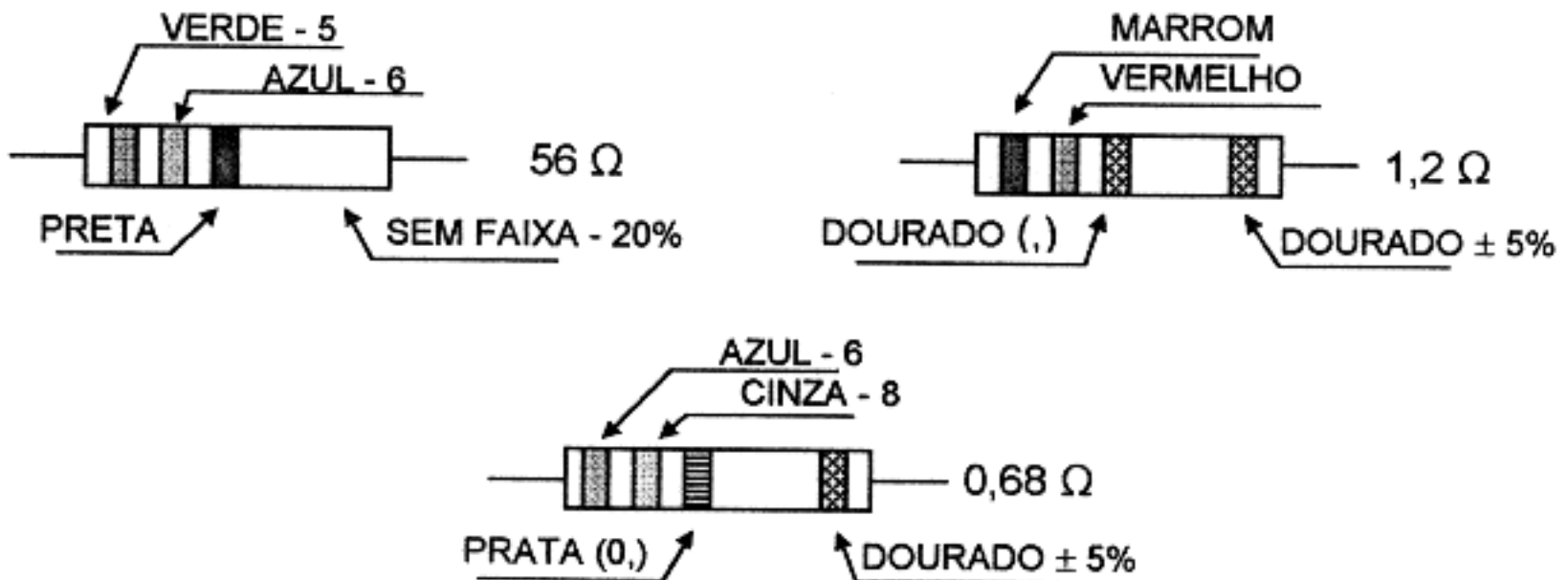
MARROM	1%
VERMELHO	2%
DOURADO	5%
PRATEADO	10%
SEM FAIXA	20%



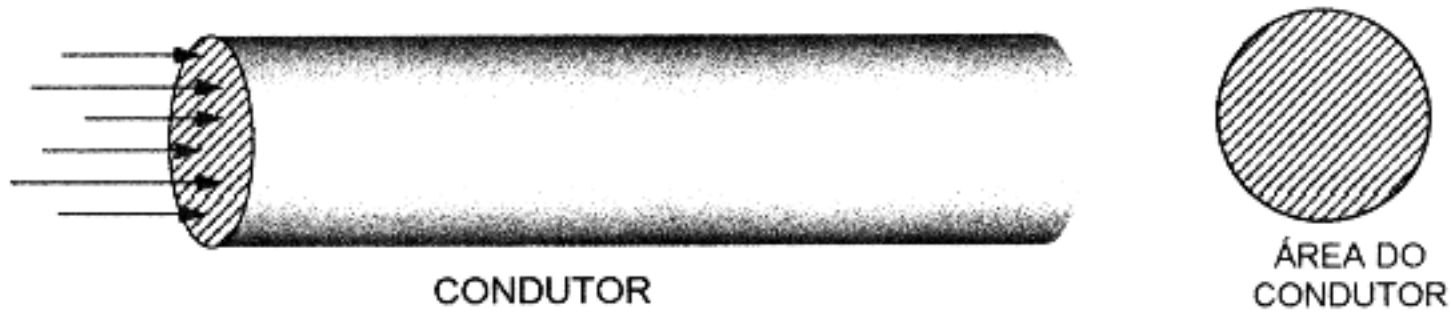
## OBSERVAÇÕES:

3ª FAIXA { PRETA → Nenhum zero a acrescentar  
DOURADA → Vírgula entre os dois primeiros algarismos  
PRATEADA → Zero vírgula antes do primeiro algarismo.

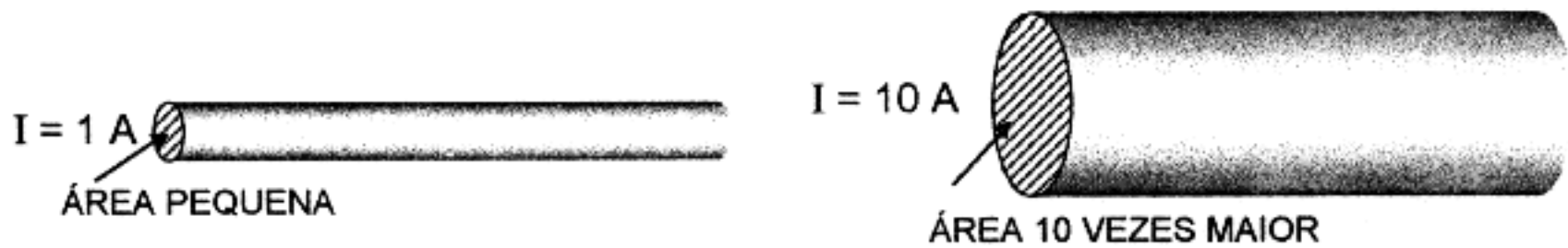
## EXEMPLOS:



## 15. CORRENTE ELÉTRICA E SEUS CONDUTORES



A *corrente elétrica* normalmente se distribui de maneira uniforme pela *área do condutor*.



Denomina-se **densidade de corrente** a **intensidade da corrente por unidade de área**

$$\text{ou} \quad D = \frac{I}{A} = \frac{\text{AMPÈRE}}{\text{mm}^2}$$

Os condutores usados em radioeletricidade são calculados para suportarem correntes da ordem de:

$$D = \frac{2,5 \text{ a } 3 \text{ A}}{\text{mm}^2} \quad (\text{sem aquecerem demais}).$$

A fórmula para cálculo da área de um condutor é dada pela Geometria.

$$A = \pi \times R^2$$

ou

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\pi = 3,14$$



(Pi) Constante.

R = Raio do condutor.

D = Diâmetro do condutor.

## 16. FUSÍVEIS

Um **fusível** serve para proteger aparelho elétrico contra sobrecargas de corrente.

A palavra **fusível** significa *o que se funde* ou *o que se derrete*.

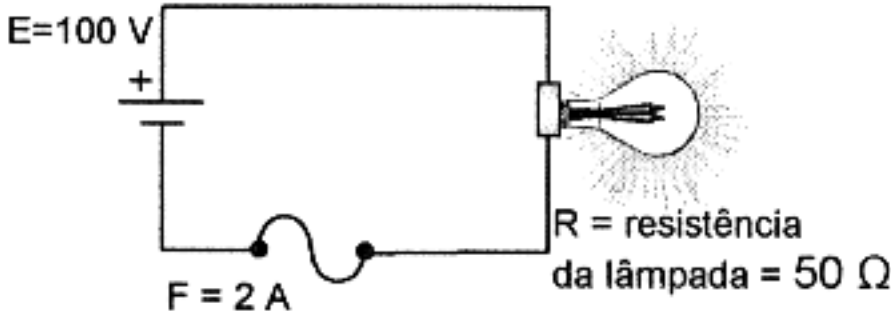
(não diga *fuzil!*)

O princípio de funcionamento dos fusíveis é baseado no **superaquecimento** do metal condutor quando a *corrente é alta demais*.



Este é o símbolo elétrico do **fusível**.

Vejamos sua aplicação:



Qual o **fusível** usar?

Calcula-se a corrente :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100 \text{ V}}{50 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Logo, a **corrente de trabalho** do fusível será de 2 A.

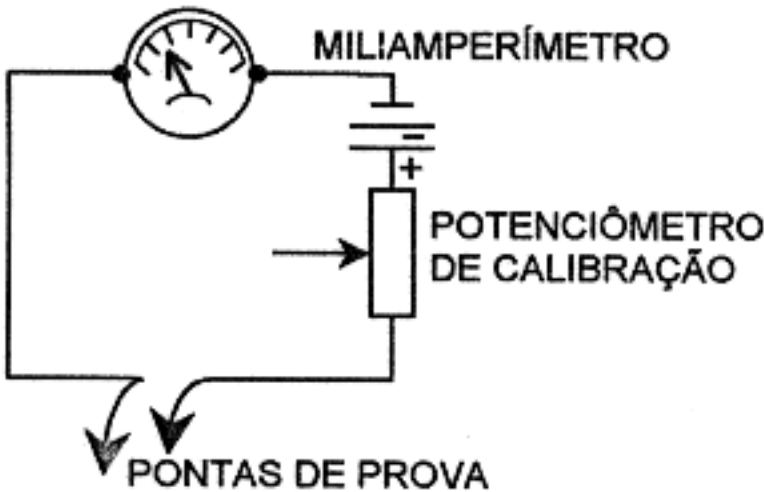
O valor da **corrente de fusão** do material do *fusível* é *superior* ao da **corrente de trabalho**.

No circuito da figura, se o valor da tensão *aumentar* demais, o valor da corrente aumenta *muito*. O *fusível* *superaquece* derretendo o material do mesmo, o circuito fica *aberto* e a *corrente* pára de circular.

Todo o fusível queimado *deve ser substituído por outro do mesmo valor* especificado no aparelho, se queimar novamente é por que o aparelho está com algum defeito.

## 17. MEDIÇÃO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O *aparelho* usado para medir a *resistência elétrica* é o **ôhmetro** ou **ohmímetro**.



O princípio do **ohmímetro** está ilustrado na figura ao lado.

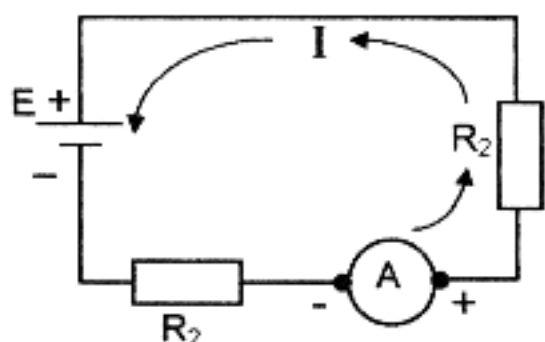
Consta de um **miliamperímetro** com escala calibrada em *ohms*, ligado *em série* com uma **bateria** (2 ou 3 pilhas ligadas em série), um **potenciômetro** (resistência variável) de *ajuste* (resistência variável) de *ajuste* e duas pontas de prova.

CIRCUITO BÁSICO DO OHMÍMETRO

### PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO:

- 1º) Unir as pontas de prova e ajustar o ponteiro *em zero*.
- 2º) Aplicar as pontas de prova aos terminais do *resistor* de valor desconhecido.
- 3º) O medidor indicará, então, o valor da *resistência* diretamente em *ohms*.

## 18. MEDIÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA



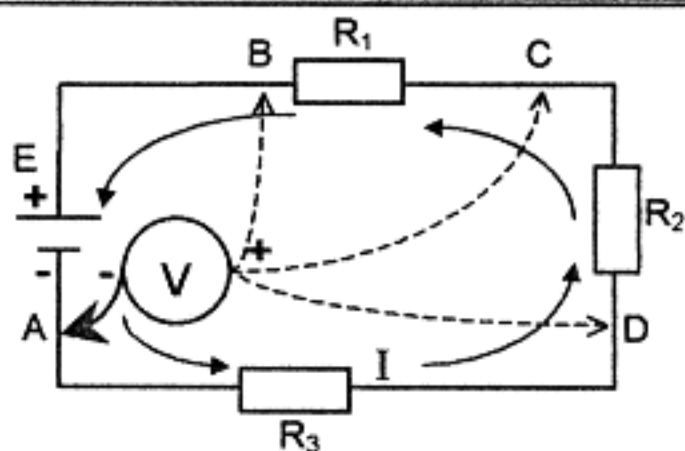
LIGAÇÃO DO AMPERÍMETRO

Para medir *corrente elétrica* usa-se um **amperímetro** (miliamperímetro, microamperímetro) ligado **em série** no circuito simples ou malha.

### IMPORTANTE!

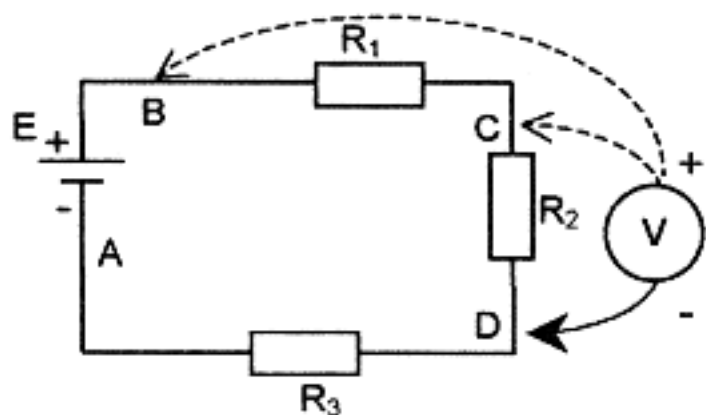
É necessário observar a **polaridade** do *amperímetro*, ligando-se o lado *negativo* deste sempre no ponto mais próximo ao lado *negativo* da fonte de alimentação da malha elétrica.

## 19. MEDIÇÃO DE D.D.P. ou TENSÃO



LIGAÇÃO DO VOLTÍMETRO

Para medir a **tensão** ou D.D.P. entre dois pontos de um circuito simples (ou malha), usa-se o **voltímetro** ligado entre os pontos cuja D.D.P. é desconhecida.



OUTRAS MEDIÇÕES NA MESMA MALHA

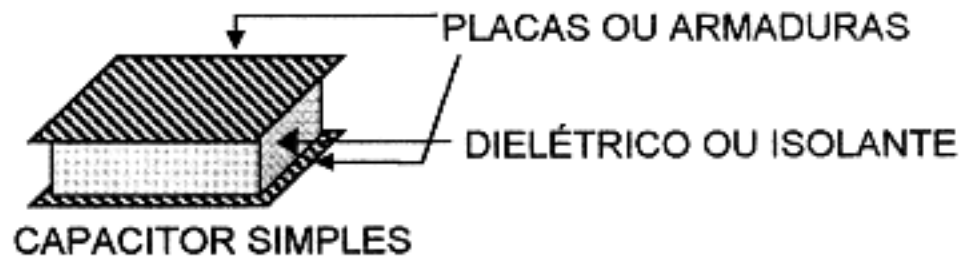
### IMPORTANTE

É necessário observar a **polaridade** do *voltímetro*, ligando-se o lado *negativo* (ponta preta) deste sempre no ponto mais próximo ao lado *negativo* da fonte de alimentação da malha elétrica.



## 20. CAPACITORES

O **capacitor** é um componente *eletrônico (passivo)* que tem a propriedade de acumular *energia elétrica*, a qual pode-se converter em **força-eletromotriz** com suma facilidade.



- Essa **propriedade** que o *capacitor* tem chama-se *capacitância*.
- A **unidade principal** de *capacitância* é o **Farad**, cujo símbolo é "F".
- Mas o **Farad** é uma unidade muito grande para se usar na prática.

Comumente usam-se os seus **submúltiplos**, que são:

SUBMÚLTIPLOS	SÍMBOLOS	VALORES
<b>Microfarad</b>	$\mu\text{F}$	0,000.001 F
<b>Nanofarad</b>	nF	0,000.000.001 F
<b>Picofarad</b>	$\rho\text{F}$	
ou		
<b>Micro-Microfarad</b>	$\mu\mu\text{F}$	0,000.000.000.001 F

Verifica-se, também, que:

$$1 \text{ F} = 1.000.000 \mu\text{F}$$

$$1 \text{ F} = 1.000.000.000 \text{ nF}$$

$$1 \text{ F} = 1.000.000.000.000 \mu\mu\text{F} \text{ ou } \rho\text{F}$$

A **capacitância** de um *capacitor* depende:

### A) Da área de confronto das placas



Justificativa: - O capacitor de  $2\mu\text{F}$  tem uma área de confronto **duas vezes** maior do que o capacitor de  $1\mu\text{F}$ . (Ambos possuem o mesmo dielétrico).

### B) Da espessura do dielétrico

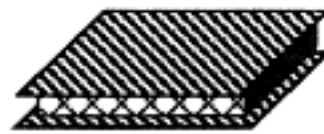


Justificativa: - O capacitor de  $0,5 \mu\text{F}$  possui um dielétrico **duas vezes** mais espesso do que o capacitor de  $1 \mu\text{F}$ . (Ambos possuem a mesma área de confronto e a mesma espécie de dielétrico).

### C) Da natureza do dielétrico



$$C = 1 \mu\text{F}$$



$$C = 5 \mu\text{F}$$

Justificativa: Cada capacitor possui um dielétrico de natureza **diferente** da do outro. (Ambos têm a mesma área de confronto e dielétricos da mesma espessura).

#### CONCLUSÕES -

I - Quanto **maior** for a área de confronto das placas de um capacitor, **maior** será sua capacitância.

II - Quanto **maior** for a espessura do dielétrico de um capacitor **menor** será sua capacitância.

III - Cada material **dielétrico** possui uma constante dielétrica **específica**.

A fórmula matemática  $C = \frac{K A}{d}$  onde

- C  $\longrightarrow$  capacitância
- K  $\longrightarrow$  constante dielétrica
- A  $\longrightarrow$  área de confronto das placas
- d  $\longrightarrow$  espessura do dielétrico

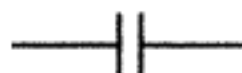
nos diz que:

O valor da *capacitância* de um capacitor é diretamente proporcional à *constante dielétrica* e à área de confronto das placas e inversamente proporcional à *espessura* do dielétrico.

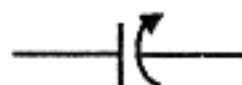
#### TIPOS DE CAPACITOR

#### SÍMBOLO

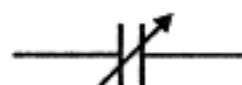
- FIXO



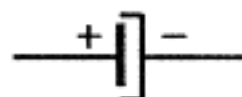
- VARIÁVEL



- AJUSTÁVEL

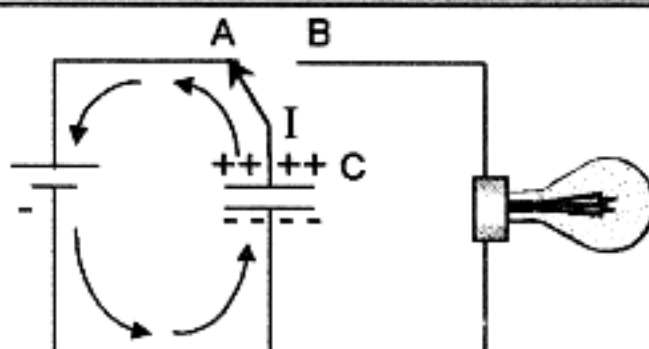


- ELETROLÍTICO



## 21. CARGA E DESCARGA DE UM CAPACITOR

#### CARGA



Nesta figura o capacitor "C" está **carregando** quando o interruptor "I" está na posição "A". Observe o sentido da corrente de **carga**.

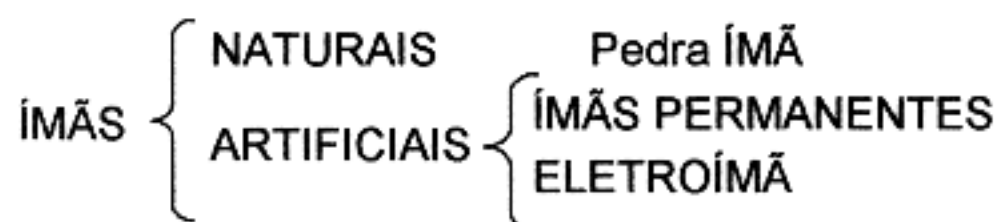


## 22. FORÇA MAGNÉTICA

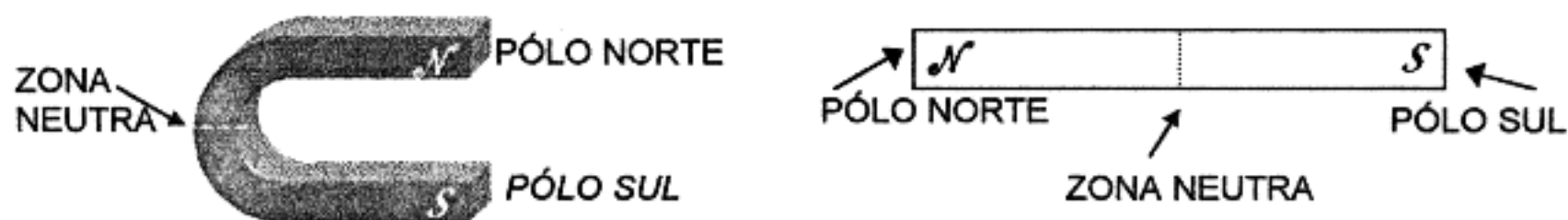
Uma das forças maravilhosas da natureza é a *força magnética* (magnetismo).

A primeira manifestação magnética deve ter sido descoberta perto da cidade chamada Magnésia, na Ásia Menor. Tratava-se de um mineral a que chamaram *pedra ímã* que exercia atração sobre peças de ferro. Pedacos alongados desse minério, suspensos por um fio, tomavam a direção NORTE-SUL e foram utilizados pelos primeiros marinheiros como bússolas primitivas.

### TIPOS DE ÍMÃS

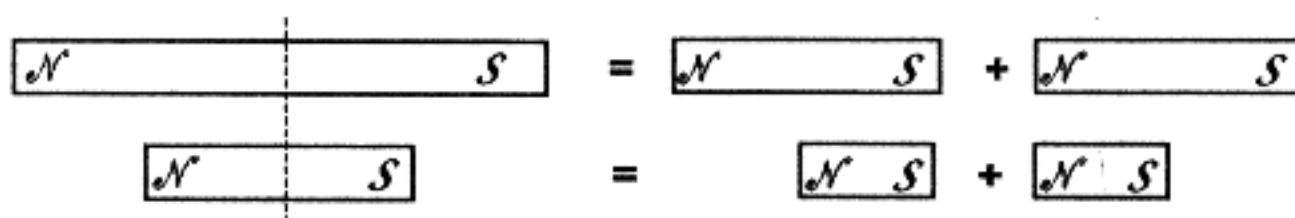


### ÍMÃS PERMANENTES:



Os **ímãs permanentes** são feitos com aço temperado ou com ligas de aço com outros metais, submetidos a um processo eletrotécnico de magnetização.

- Cada **ímã** tem **2 pólos: Norte e Sul**.
- A **força magnética** é maior nos **pólos**.
- Na **zona neutra** a **força magnética** é mínima.

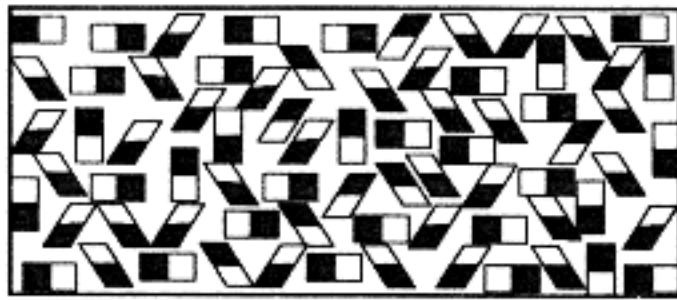


Cortando-se um **ímã permanente** em duas partes, formam-se **dois ímãs menores**.

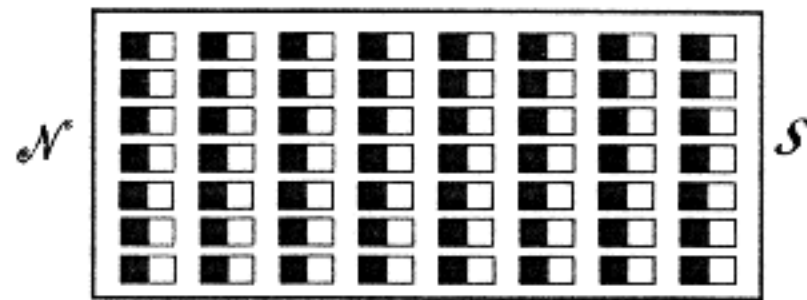
Cortando-se novamente os **ímãs menores** eles se dividem em outros **dois menores**, como mostra a figura.

Se cortássemos indefinidamente um ímã, como mostra a figura, obteríamos, no limite, **ímãs moleculares** (do tamanho de uma *molécula*).

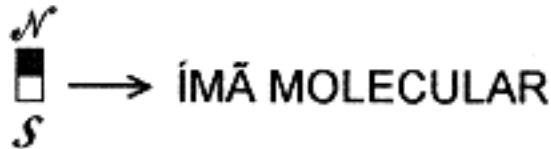
Então, a diferença entre um material **magnetizado** e um **não magnetizado** é:



BARRA NÃO IMANTADA



BARRA IMANTADA

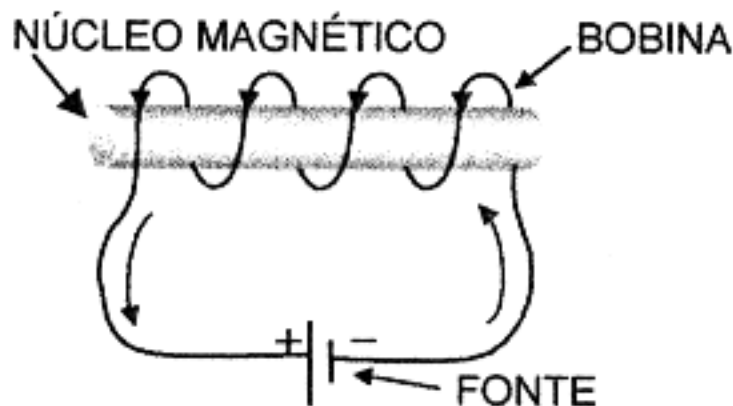


**CONCLUSÃO:**

Num material **magnetizado**, seus *ímãs moleculares* estão todos ordenados e **orientados** formando um **ímã maior**.

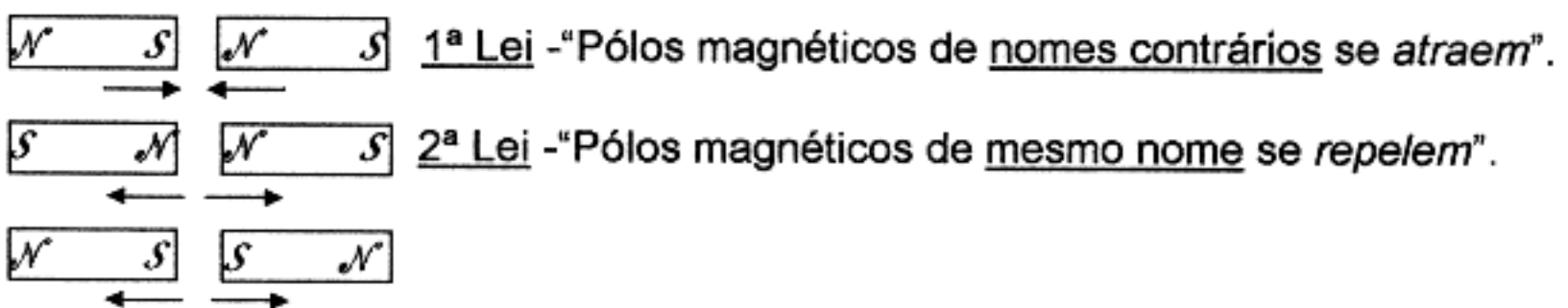
O aço e as ligas magnéticas são facilmente *imantados* ou *magnetizados*, formando **ímãs permanentes**.

**ELETROÍMÃS :**



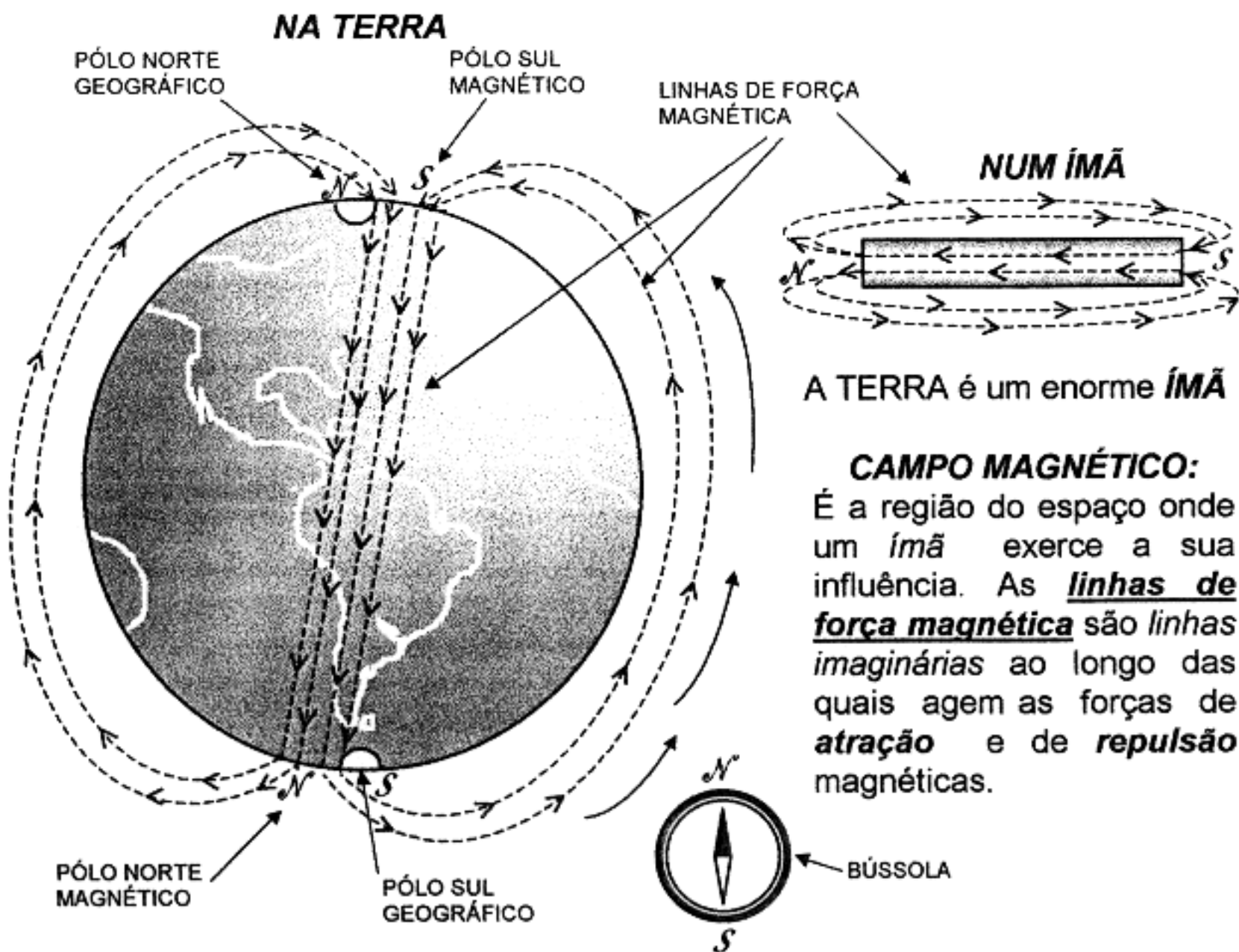
*Eletroímãs* são **bobinas**, com núcleo de **ferro**, as quais funcionam como **ímãs somente quando ligadas** numa fonte de **corrente elétrica**.

**LEIS FUNDAMENTAIS DO MAGNETISMO:**



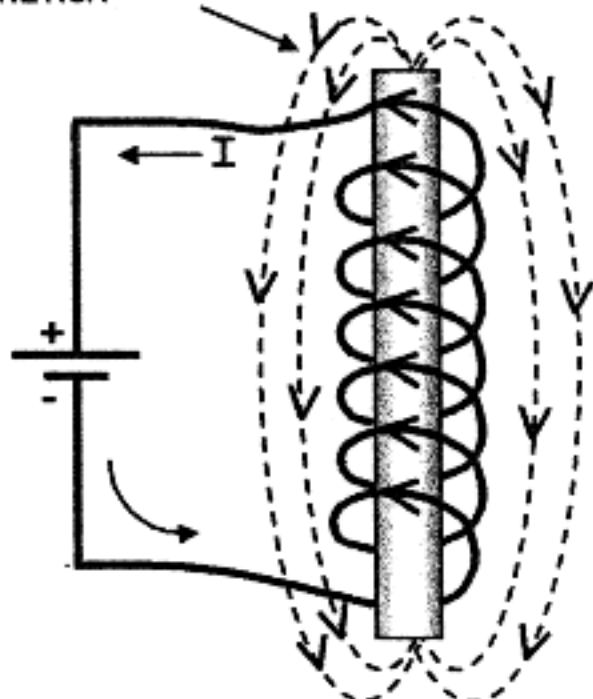


## 23. LINHAS DE FORÇA MAGNÉTICA



UM SOLENÓIDE (= BOBINA) PERCORRIDO POR UMA CORRENTE ELÉTRICA TAMBÉM COMPORTA-SE COMO UM ÍMÃ

LINHAS DE FORÇA MAGNÉTICA



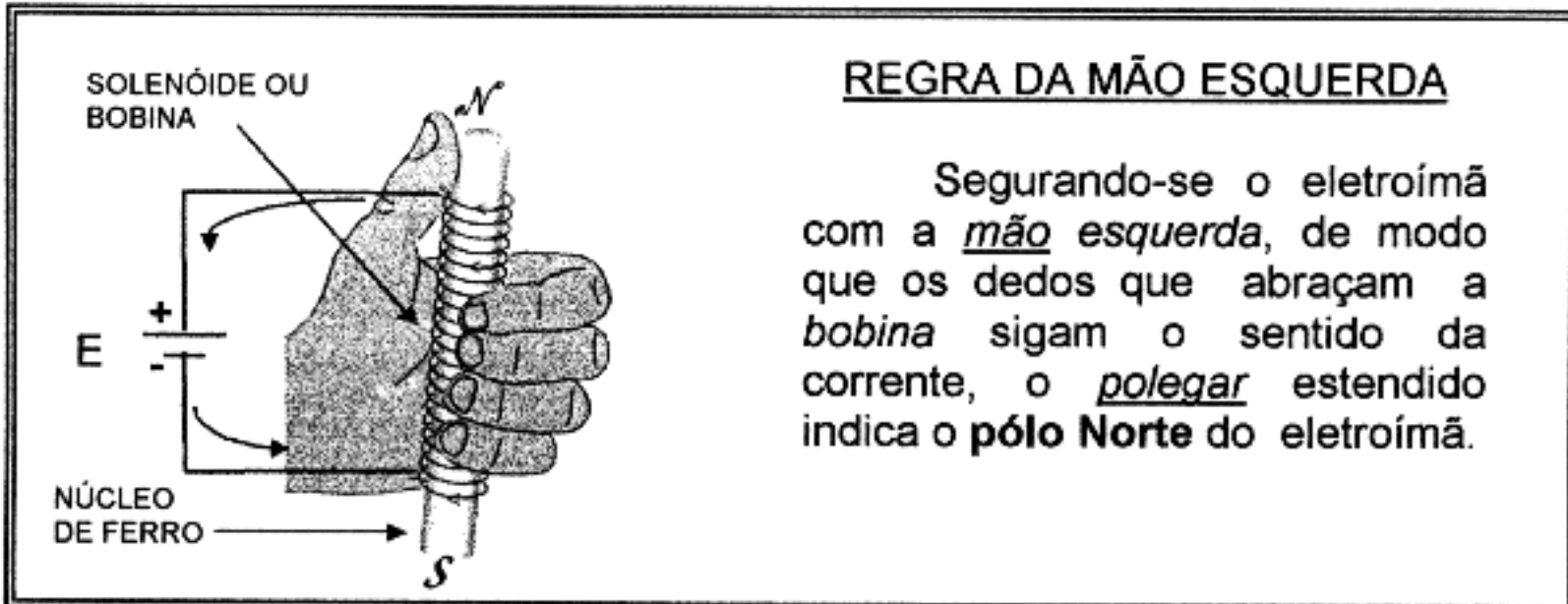
OBSERVAÇÕES:

a) Em qualquer *ímã*, as **linhas de força magnética** dirigem-se do **pólo  $\mathcal{N}$**  para o **pólo  $\mathcal{S}$**  por fora do *ímã*. (Por dentro do *ímã* o sentido é inverso:  $\mathcal{S} \rightarrow \mathcal{N}$ ).

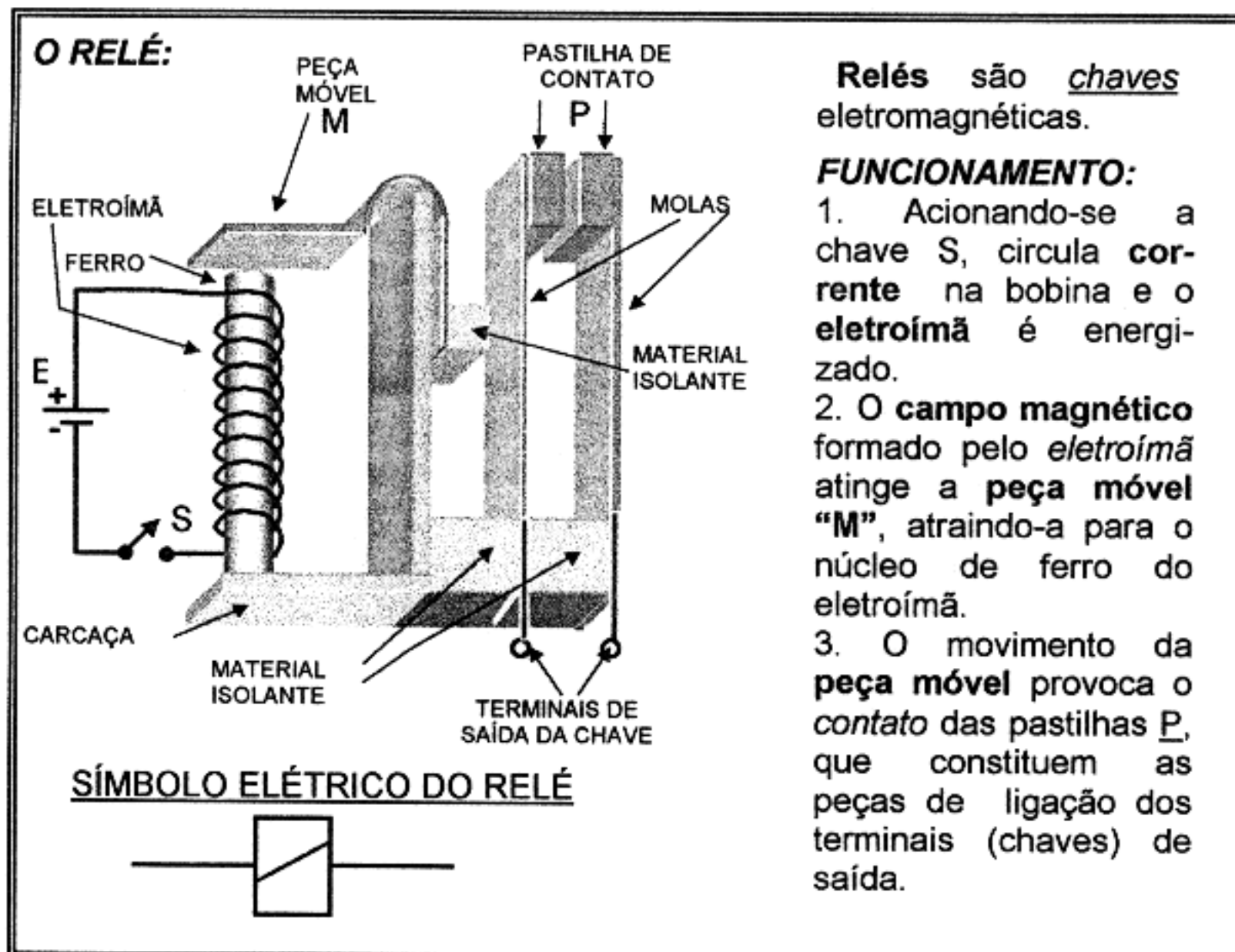
b) No **pólo Norte** geográfico da *Terra* localiza-se o **pólo Sul** magnético e vice-versa (com pequeno desvio, conforme mostra a figura acima). Por este motivo o **pólo  $\mathcal{N}$**  magnético da bússola indica o **pólo  $\mathcal{N}$**  geográfico.

## 24. FUNCIONAMENTO DE UM ELETROÍMÃ SIMPLES O RELÉ

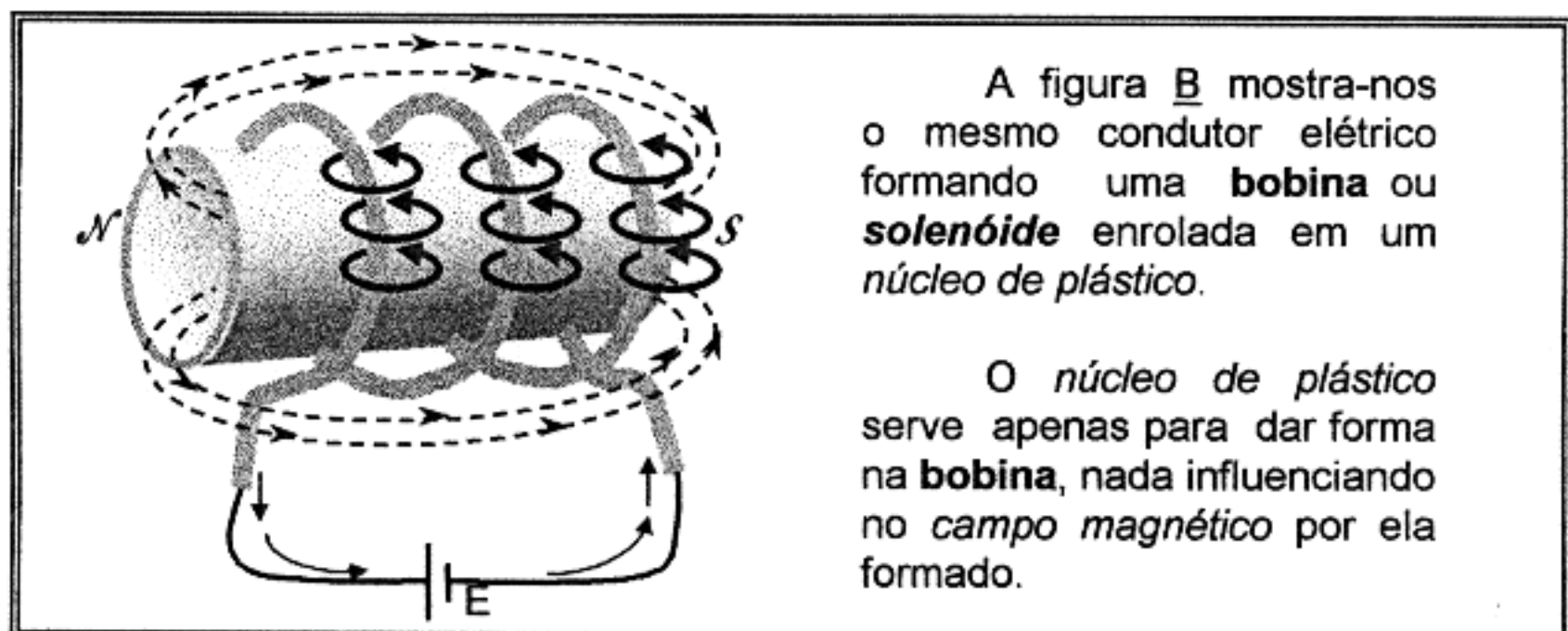
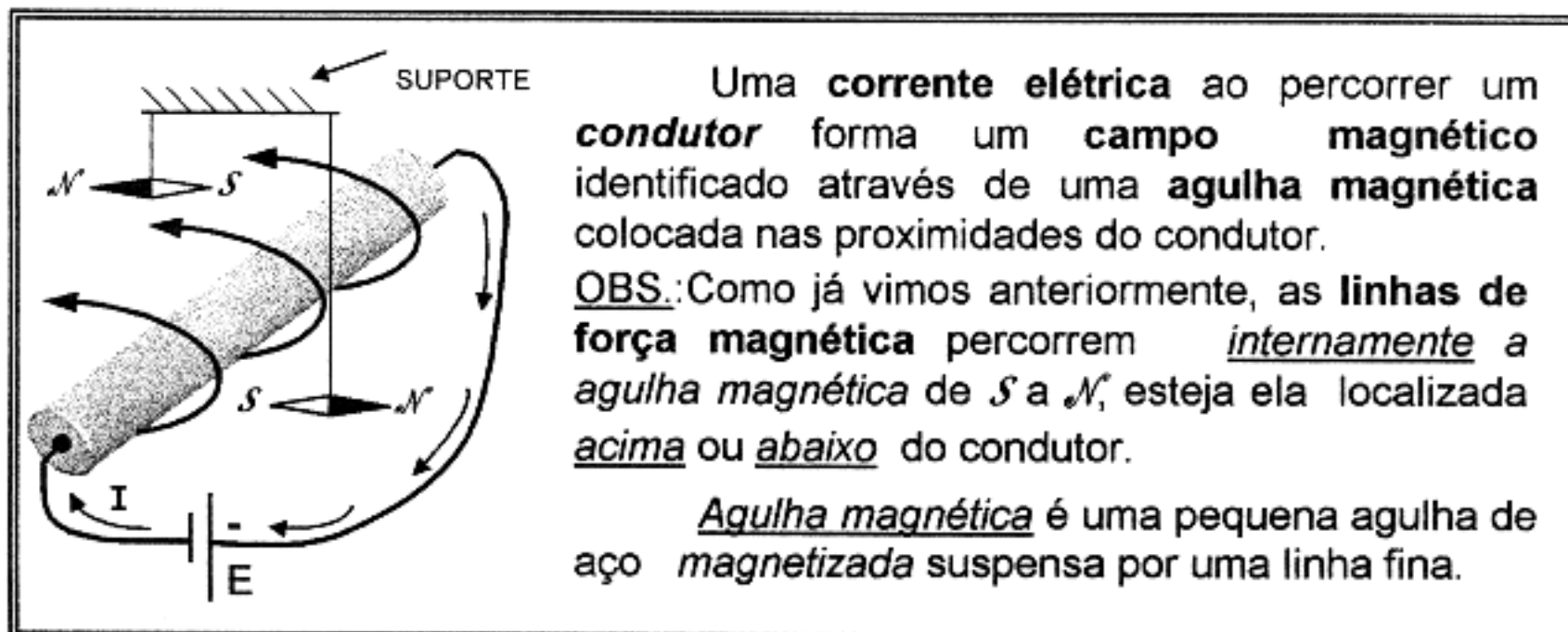
Um **solenóide** (ou *bobina*) com **núcleo de ferro** percorrido por uma **corrente elétrica** constitui um **eletroímã** que gera um **campo magnético**.



O **campo magnético** formado é capaz de **atrair** qualquer peça de ferro ou aço, colocada próxima a um dos pólos do *eletroímã*.



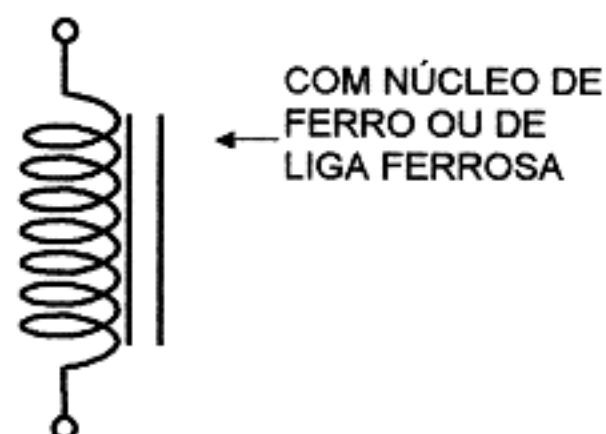
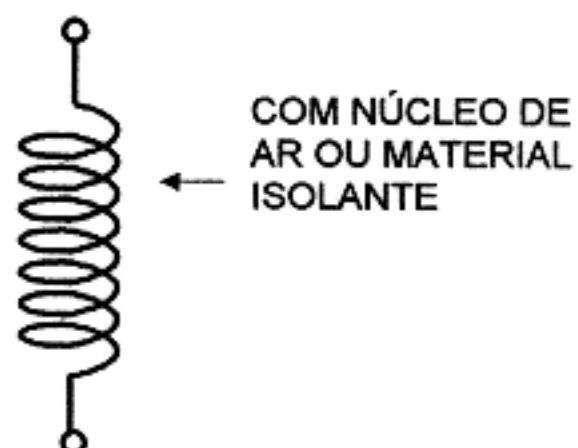
## 25. INDUÇÃO MAGNÉTICA EM UM SOLENÓIDE



Note o efeito somatório das **linhas de força magnética** de cada volta ou **espira da bobina**, dando como resultado o **campo magnético da bobina**.

Portanto, **bobinando-se** o mesmo condutor, foi possível **concentrar** todo o efeito **magnético da corrente** dentro de um espaço mais **reduzido**: → **Bobina**.

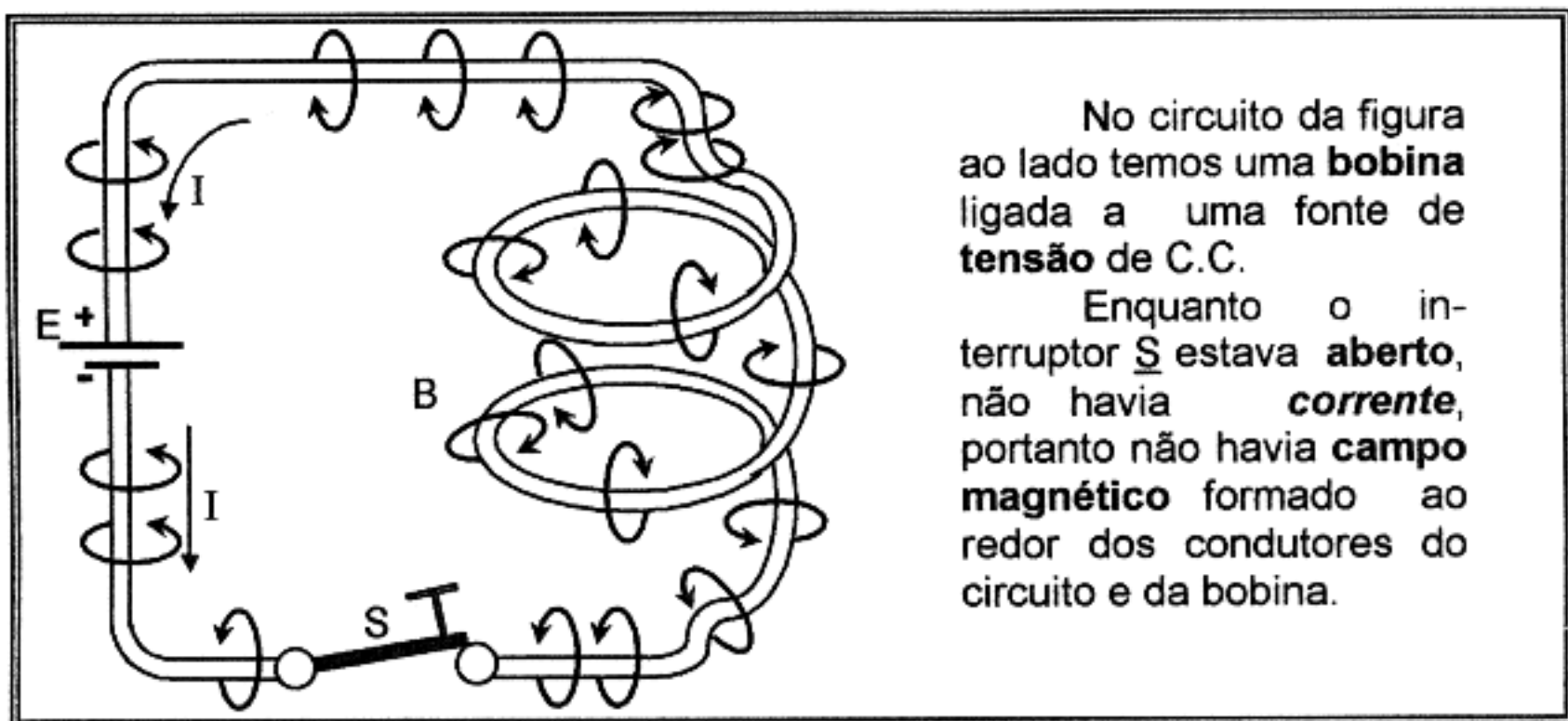
**SÍMBOLO DE BOBINA OU SOLENÓIDE:**



## 26. AÇÃO DE UMA BOBINA NUM CIRCUITO DE CORRENTE CONTÍNUA

Já vimos que, numa malha de circuito alimentada por *pilha* ou *bateria*, a **corrente** circula sempre no mesmo sentido. Ela sai do **pólo negativo**, circula por todos os elementos da malha do circuito, e chega no **pólo positivo** (sentido da corrente ou fluxo de elétrons).

A esta **corrente** que circula no mesmo sentido, entre **dois pólos** (positivo e negativo), damos o nome de **corrente contínua** abreviada por C.C. (É a mesma *corrente direta* ou D.C. assim chamada pelos povos de fala inglesa).



No circuito da figura ao lado temos uma **bobina** ligada a uma fonte de **tensão de C.C.**

Enquanto o interruptor **S** estava **aberto**, não havia **corrente**, portanto não havia **campo magnético** formado ao redor dos condutores do circuito e da bobina.

A) No instante em que o interruptor **S** é fechado, a intensidade da **Corrente** nos condutores e na bobina, começa a crescer, desde o **valor zero** até o seu **valor máximo**.

Ao mesmo tempo, as linhas de força do **campo magnético** se expandem nos condutores e nas espiras da bobina, até que o **campo magnético** atinja o seu **valor máximo**. Este crescimento da **corrente** e do **campo magnético** é rápido mas não instantâneo, ocorrendo em uma pequena fração de tempo, como mostra o gráfico **C** abaixo.

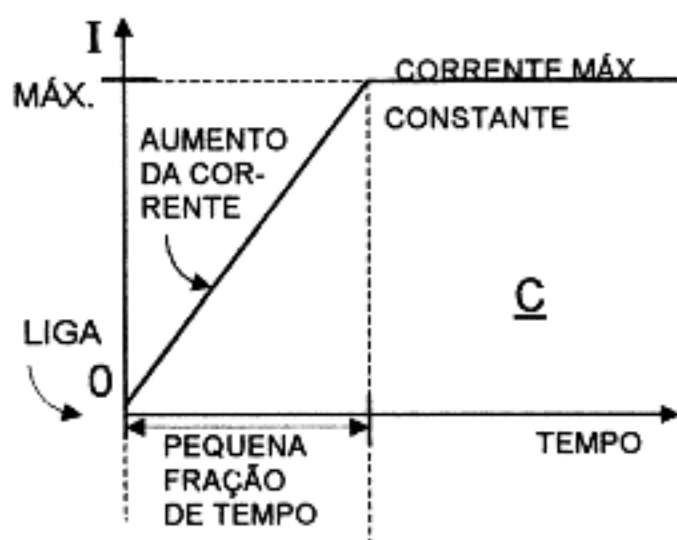
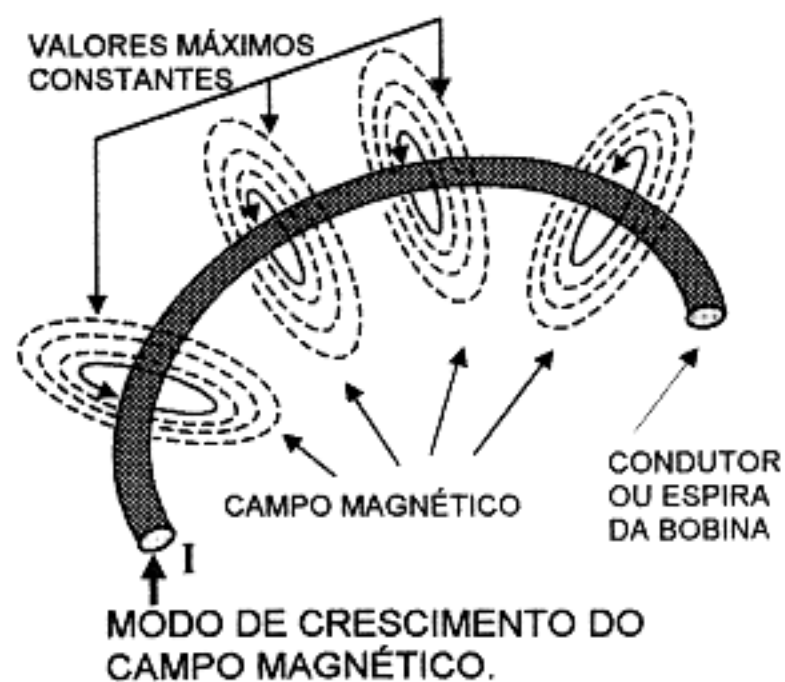


GRÁFICO DO CRESCIMENTO DA CORRENTE (APÓS LIGAR O INTERR.)





Enquanto a **corrente cresce**, o **campo magnético** se **expande**, até que ambos atingem valores **constantes**.

Durante a expansão (variação) do **campo magnético**, suas linhas de força atingem outras espiras da bobina, induzindo nela uma **força eletromotriz (F.E.M.) de auto-indução** (ou *self indução*).

Esta **F.E.M. de auto-indução** gera uma **corrente** que tende a se opor à **corrente inicial** (*crescente*).

A **oposição** à corrente inicial dá origem ao seu **retardo** de crescimento (ou pequena fração de tempo) mostrada no gráfico C.

Após a **corrente** e o **campo magnético** atingirem seus valores **máximos e constantes**, desaparece a F.E.M. de *auto-indução*, também chamada de **Força Contra-Eletromotriz** (ou F.C.E.M.).

B) Vejamos agora o que acontece quando o interruptor **S** é **aberto** (ou desligado).

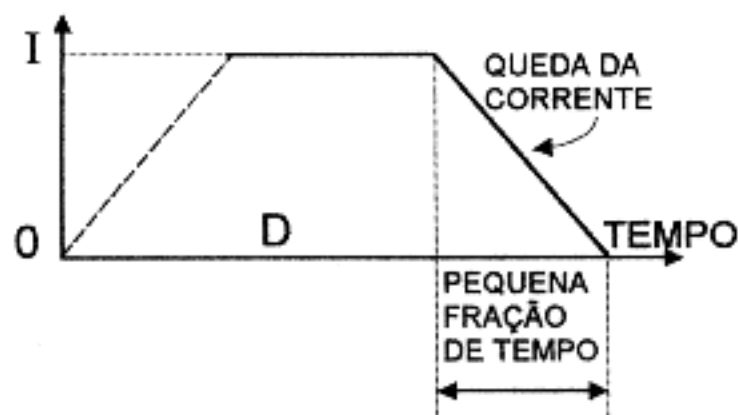


GRÁFICO DO CRESCIMENTO DA CORRENTE (APÓS DESLIGAR O INTERRUPTOR)

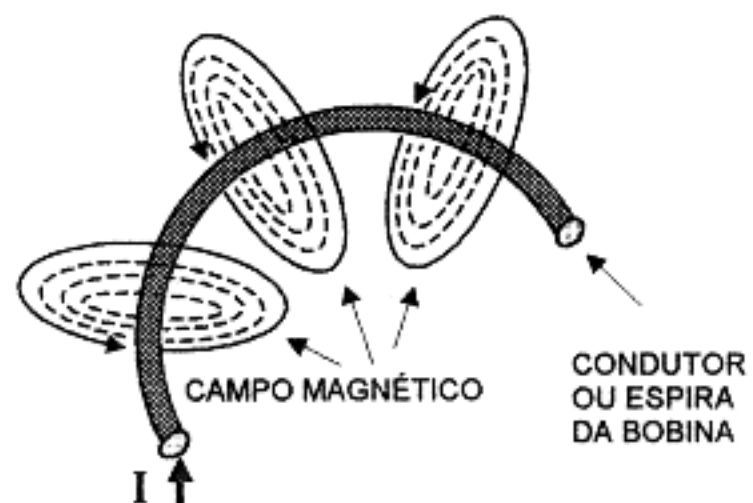


GRÁFICO DE CRESCIMENTO DO CAMPO MAGNÉTICO

No instante em que **ABRIMOS** o interruptor **S**,

- A intensidade da **corrente** nos condutores e na bobina, **começa a decrescer**, desde o **valor máximo** até o **valor zero** (conforme gráfico "D").
- As linhas de força do **campo magnético** se contraem, nos condutores e na bobina, até que o **campo magnético** atinja o **valor zero**.
- O decréscimo da **corrente** e do **campo magnético** é **rápido** mas **não instantâneo**, ocorrendo em uma **pequena fração de tempo**, como mostra o gráfico "D".
- A contração (*variação*) das **linhas de força** do **campo magnético** atinge outras espiras da bobina, induzindo nelas uma **F.E.M. de auto-indução** (ou *self indução*).
- Esta **F.E.M. de auto-indução** gera uma **corrente** que se opõe à **corrente decrescente**.
- A **oposição** a esta corrente decrescente origina o seu **retardo** de decréscimo (ou pequena fração de tempo) mostrada no gráfico "D".

Após as variações da **corrente** e do **campo magnético** se **anularem**, desaparece a **F.E.M. de auto-indução** (F.C.E.M.).



### OBSERVAÇÃO TÉCNICA :

A **F.E.M.** gerada pelo *campo em extinção* é de um valor muito alto, que não só se opõe à variação da corrente, como também causa uma forte centelha no interruptor a fim de manter o fluxo da corrente. Embora momentânea, essa F.E.M. pode assumir um valor equivalente a várias vezes o valor da tensão da fonte original.

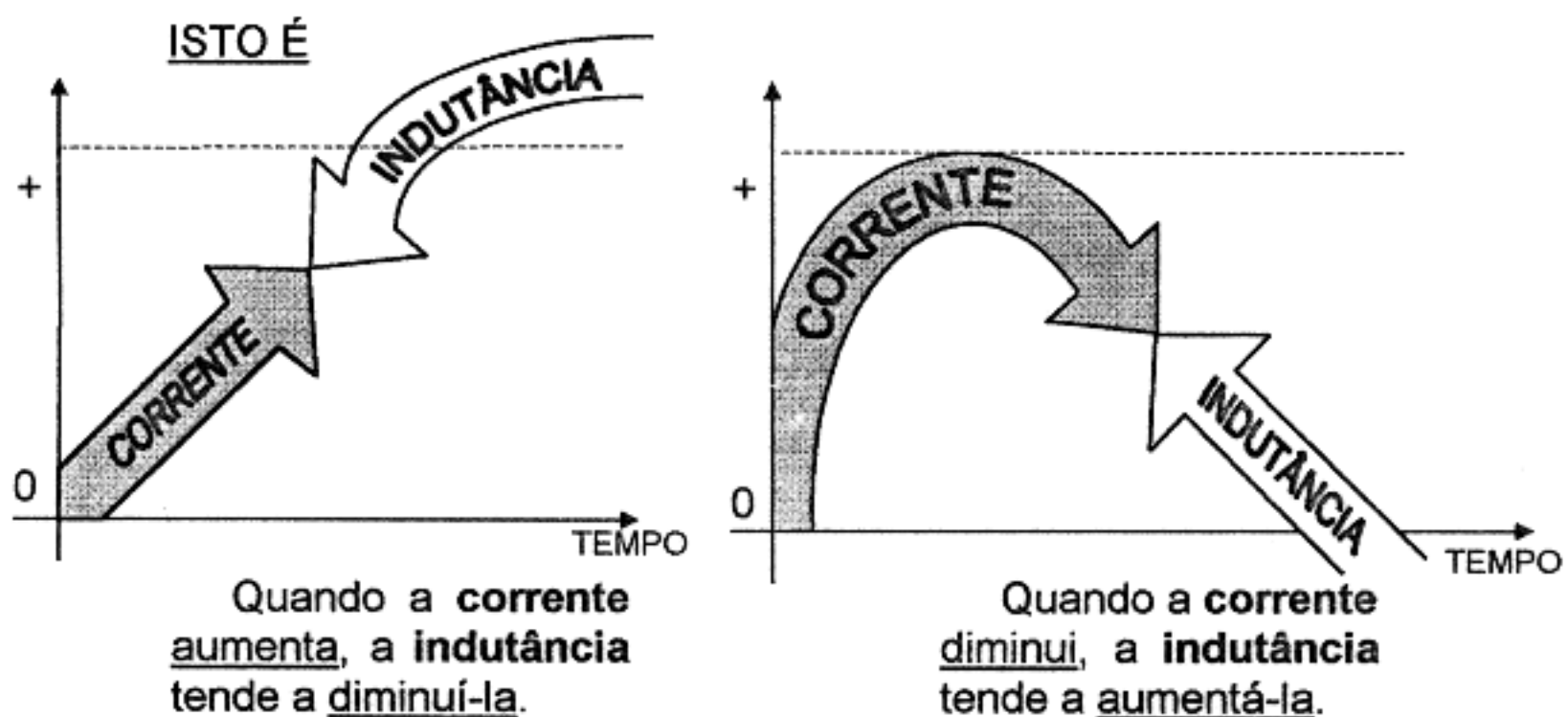
A **indutância** ou efeito de indução está presente em todos os circuitos elétricos onde há **variação de corrente**.

Como uma bobina tem mais **indutância** do que um pedaço reto de fio, a bobina é chamada de **indutor**.

Num circuito de corrente contínua a **corrente** tem valor normalmente constante e o efeito de **indutância** só aparece nos momentos em que o circuito é **ligado** ou **desligado**.

### CONCLUSÃO:

A **indutância** se *opõe* às *variações da corrente no circuito*.



## **27. CONCEITO DE AUTO-INDUÇÃO**

No item anterior (26), vimos que quando passa uma **corrente variável** por uma **bobina**, o **campo magnético variável** resultante ao redor de cada espira corta **todas as espiras** e...

INDUZ UMA TENSÃO NA BOBINA, DE POLARIDADE OPOSTA  
À F.E.M. APLICADA.

O valor desta F.E.M. (induzida) depende:

-DO NÚMERO DE ESPIRAS DA BOBINA.

-DA INTENSIDADE DA CORRENTE QUE PASSA POR ELA.

-DO NÚMERO DE LINHAS DE FORÇA QUE ATRAVESSAM A BOBINA.

A tensão induzida chama-se **Força Contra-Eletromotriz** (F.C.E.M.) e o efeito chama-se **auto-indução** ou **indutância**.

Esta **auto-indução** tende a se opor a qualquer variação da corrente do circuito.

Portanto, temos

INDUTÂNCIA  $\longrightarrow$  (Efeito)

Símbolo: L

Unidade principal: HENRY

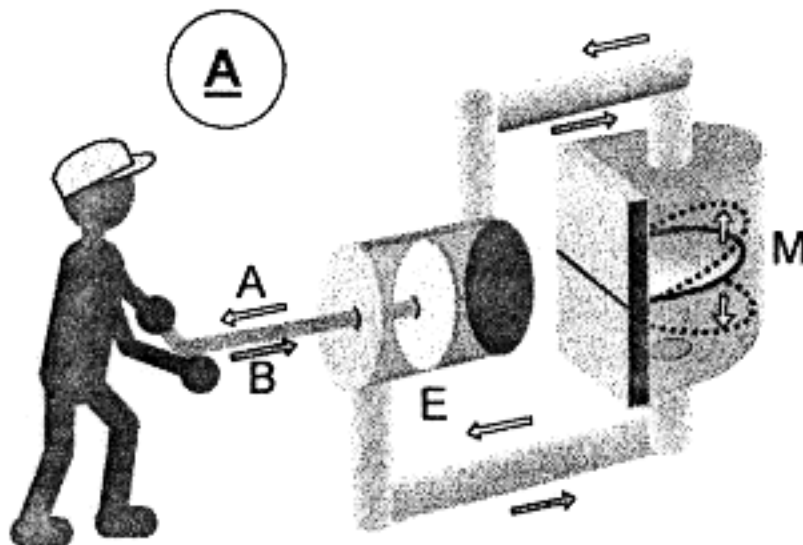
Símbolo: H

Submúltiplos

MILIHENRY mH = 0,001 H

MICROHENRY  $\mu$ H = 0,000001 H

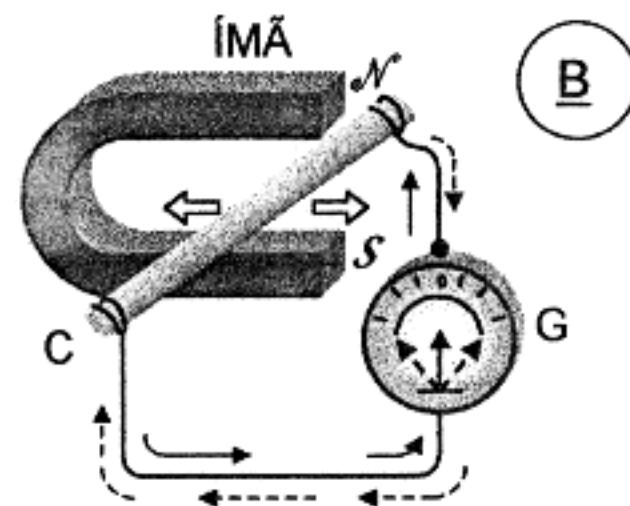
## 28. CORRENTE ALTERNADA



CORRENTE HIDRÁULICA

Neste circuito hidráulico, se o êmbolo E for acionado nos dois sentidos A e B, o líquido ora circulará no sentido horário ( $\curvearrowright$ ) ora em sentido anti-horário ( $\curvearrowleft$ ). Isto fará com que a membrana M se curve para baixo ou para cima, respectivamente.

Teremos então uma **corrente** de líquido do tipo **alternada**.



CORRENTE ELÉTRICA

Da mesma forma, movimentando-se o condutor C entre os pólos do ímã, como mostra a figura acima, aparece no condutor (por indução) uma corrente elétrica que ora circula no sentido indicado com setas ( $\longrightarrow$ ), ora em sentido contrário ( $\dashrightarrow$ ), conforme o sentido de movimento do condutor entre os pólos do ímã.

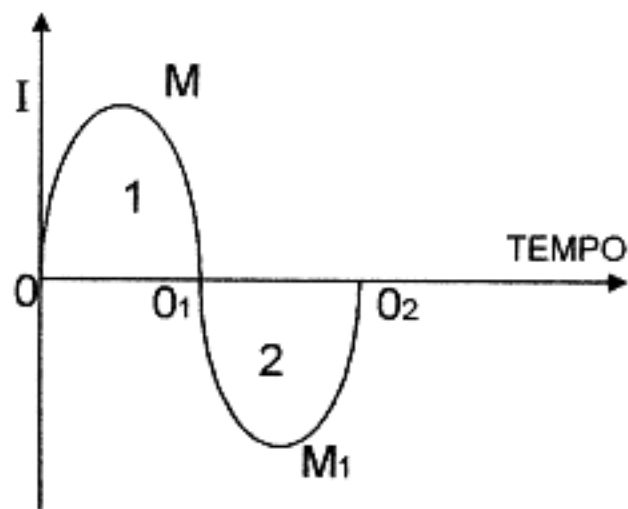
A mesma figura B mostra-nos o sentido da corrente que faz o ponteiro do galvanômetro G movimentar-se ora para a esquerda, ora para a direita.

### OBSERVAÇÕES:

- Quando o condutor passa entre os pólos do ímã, ele **corta** linhas de **força magnética**; isto faz gerar uma **F.E.M.** no condutor. Esta F.E.M. produz uma *corrente elétrica*.

- Tanto faz o **condutor** se movimentar ficando o ímã parado, como o ímã se movimentar e o condutor ficar parado.

- O importante é que as linhas de força magnética sejam **cortadas** pelo **condutor**.



Esta é a **representação gráfica** da *corrente* produzida pelo **movimento** do condutor entre os pólos do ímã ou **corrente alternada**.

A curva acima (que se chama *senóide*) representa um movimento (*ciclo*) **completo**, constante de entrada e saída do condutor entre os pólos do ímã.

A parte 1 (*semiciclo*) representa a *corrente* produzida no movimento de **entrada** do condutor.

OBS.: - Inicia-se o movimento do condutor **cortando linhas de força** em 0.

- Em M o condutor estará cortando um número **máximo** de linhas de força, (*valor máximo da corrente*).

- Em O<sub>1</sub> ele para no interior do ímã (valor zero da corrente) e inicia a movimentar-se para a saída.

- A F.E.M. induzida muda de polaridade (fazendo circular uma corrente de sentido contrário ao anterior).

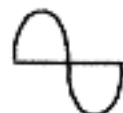
- Em M<sub>1</sub> o condutor corta outro número **máximo** de linhas de força (*→ valor máximo negativo*) da *corrente elétrica*.

- Em O<sub>2</sub> cessa o movimento de saída do condutor e ele para, (valor zero da *corrente*) e inicia novo movimento de entrada.

A parte 2 (*semiciclo*) representa o movimento de **saída** do condutor.

**1 CICLO = 2 SEMICICLOS**

SÍMBOLO DA C.A.



Abrevia-se corrente alternada por C. A. (ou A.C.)

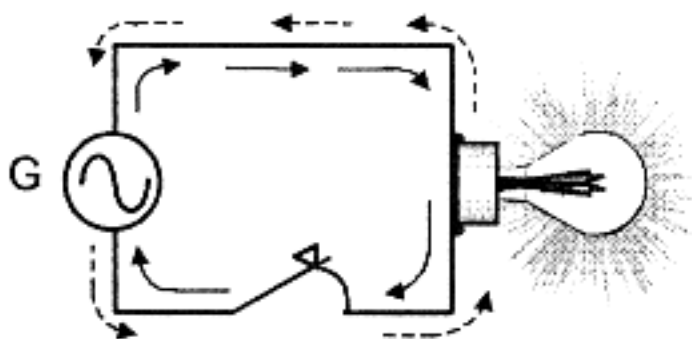
FREQÜÊNCIA DA C. A.: *f*

- É o número de *ciclos* produzidos em **1 segundo**.  $\frac{1 \text{ ciclo}}{\text{seg}} = 1 \text{ hertz}$

PERÍODO: *p*

- É o **tempo** necessário para a C. A. descrever 1 *ciclo*.

## 29. DIFERENÇA ENTRE CORRENTE CONTÍNUA - C.C. E CORRENTE ALTERNADA - C.A.



A figura ao lado mostra um circuito contendo *um gerador* (G) de **corrente alternada**, um interruptor e uma lâmpada.

A **corrente alternada** C.A. passa, através do circuito, no sentido horário (setas contínuas) e no sentido anti-horário (setas interrompidas), sempre a **intervalos regulares**.

A **corrente contínua** circula **sempre** no mesmo sentido, em relação aos pólos do gerador de C.C. (pilha, bateria, acumulador, etc.).

Se a **freqüência** (= quantidade de ciclos por segundo) for 50 ciclos por segundo, **50 c/s ou 50 hertz = 50 Hz**, a lâmpada da figura acima acenderá e apagará 100 vezes por segundo.

Sim, porque em cada ciclo a **corrente** circula em dois sentidos diferentes (vide figura acima). Logo, em cada ciclo a lâmpada *acende* ( —————> ), *apaga*, *acende* (----->) e *apaga* novamente, portanto, dois acendimentos e dois apagamentos por ciclo.

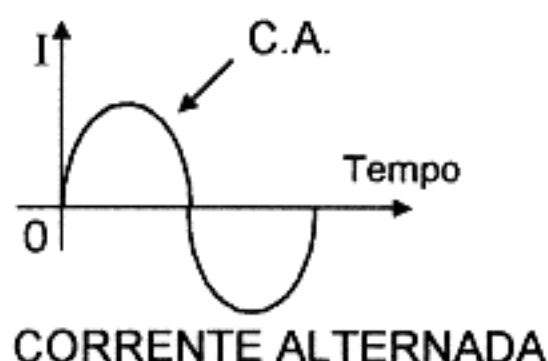
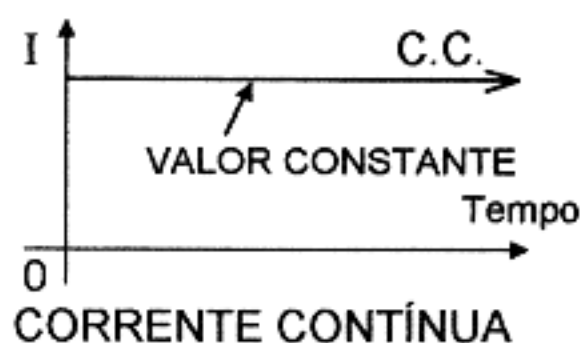
**OBSERVAÇÃO:** Esses acendimentos e apagamentos sucessivos são imperceptíveis ao olho humano, por se sucederem a intervalos de tempo menores que 0,1 seg.

Já vimos que a **corrente contínua** C.C. flui num único sentido e é medida pela contagem do **número de elétrons** que passam num determinado ponto do circuito, durante **um segundo**.

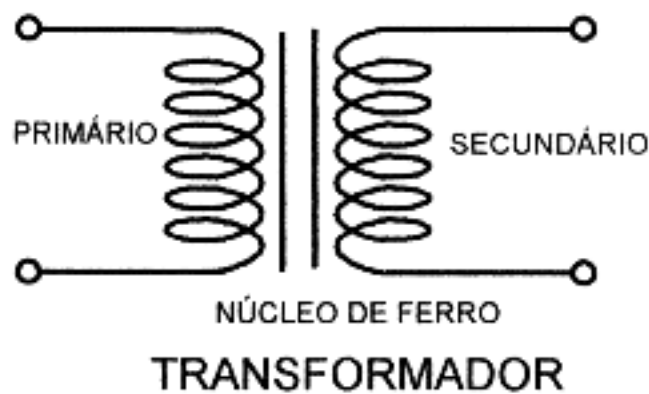
Se **um coulomb** (de elétrons) passa por um ponto do circuito em **um segundo**, todos os elétrons movendo-se **no mesmo sentido** a corrente será de **1 ampère, C.C.**

Se **meio coulomb** (de elétrons) passa num ponto em **meio segundo** movendo-se num sentido e depois passa pelo mesmo ponto em sentido inverso, durante o **meio segundo** seguinte, então, um total de **um coulomb** de elétrons passou pelo mesmo ponto em **um segundo**. Então, a **corrente total** que passou pelo mesmo ponto é de **1 coulomb por segundo** ou **1 ampère, C.A.**

### REPRESENTAÇÃO GRÁFICA



### 30. FUNCIONAMENTO DO TRANSFORMADOR



Um transformador simples consiste de duas bobinas colocadas uma bem próxima à outra, mas isoladas eletricamente uma da outra.

O bobinado que se *alimenta* com C.A. é denominado **primário**. Este bobinado produz um **campo magnético** que **corta as espiras** do outro bobinado, denominado **secundário**, gerando aí uma **tensão**.

Os **bobinados** não são fisicamente ligados entre si. Eles são **acoplados magneticamente**.

Assim, um **transformador** transfere **energia elétrica** de uma bobina para outra por meio de um **campo magnético alternado**.

Admitindo-se que todas as linhas de força magnética do **primário** abraçam todas as espiras do **secundário**, então, a tensão induzida no secundário dependerá da relação entre o **número de espiras** do secundário e o **número de espiras** do primário.

EXEMPLO:

Se existem 1.000 espiras no secundário e somente 100 espiras no primário, a tensão induzida no secundário será igual a 10 vezes a tensão aplicada ao primário. ( $\frac{1.000}{100} = 10$ ).

Como há mais espiras no **secundário** do que no **primário**, o transformador é chamado **transformador elevador**.

Se, por outro lado, o **secundário** tivesse 10 espiras e o **primário** 100 espiras, a tensão induzida no **secundário** seria igual a um décimo da tensão aplicada ao **primário**. ( $\frac{10}{100} = \frac{1}{10}$ ).

Como haveria menos espiras no **secundário** que no **primário**, o transformador seria denominado **transformador abaixador**.

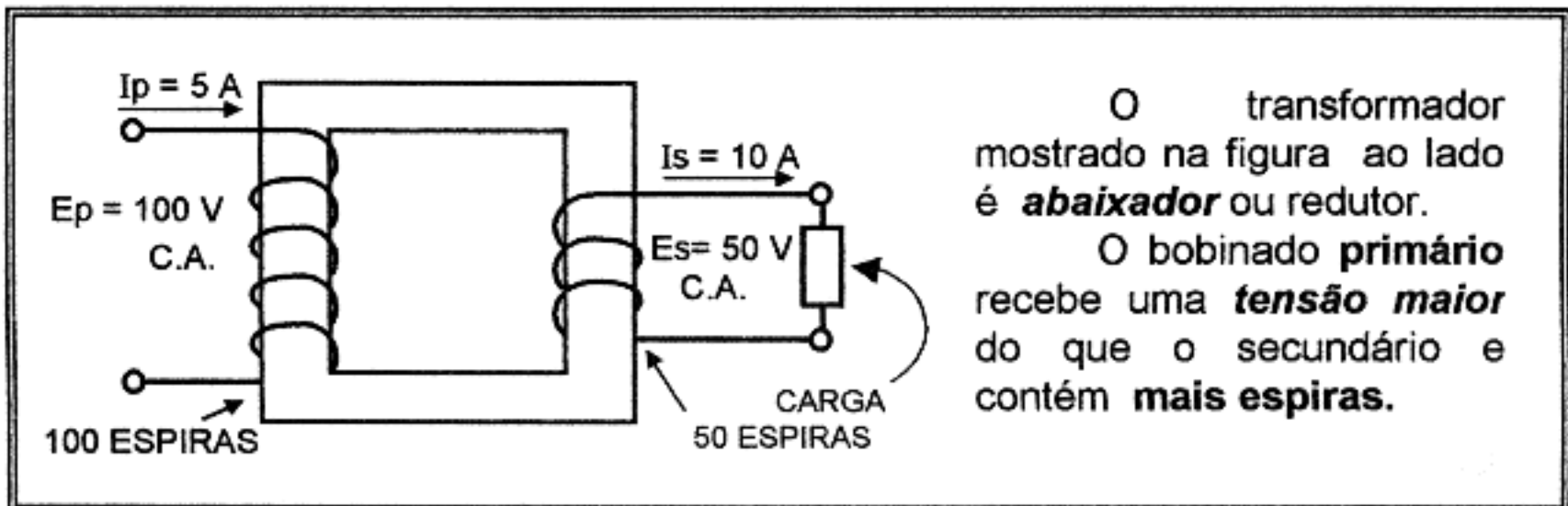


Quando não há uma carga ligada à saída do secundário, a corrente no primário é muito pequena. Esta pequena corrente é chamada de corrente de magnetização ou de excitação.

Dependendo da **freqüência** da C.A., onde são usados os transformadores, podem ter núcleo de **ar** ou de **materiais magnéticos** tais como, chapas de ferro-silício, ligas tipo ferrite, etc.

Um transformador de uma **fonte de alimentação** de um rádio, possui um núcleo formado de lâminas de ferro-silício de forma quadrada ou retangular, com uma parte central vazada (janela) onde se alojam os bobinados.

Tanto o bobinado **primário** como o **secundário** podem conter **várias bobinas** separadas, cada um, as quais são calculadas para receber ou fornecer tensões de diferentes valores.



A **tensão** no *primário* é **maior** mas a corrente é **menor**. No *secundário*, a **tensão** é **menor** mas a **corrente** é **maior**.

Note que o produto  $E_p \times I_p = 100 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 500 \text{ VA}$  no primário e o mesmo  $E_s \times I_s = 50 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 500 \text{ VA}$  no *secundário*.

O produto  $E_p \times I_p = P_p$  é a *potência no primário*.

O produto  $E_s \times I_s = P_s$  é a *potência no secundário*.

**OBSERVAÇÃO:** Neste transformador *ideal*, a  $P_p$  ( $\rightarrow$  Potência do primário) é igual a  $P_s$  ( $\rightarrow$  Potência do secundário).

Isto nos diz que não há *perdas* no transformador, o que é irreal.

Na realidade, a *potência do primário*  $P_p$  é um pouco maior do que a *potência do secundário*  $P_s$  ou seja:

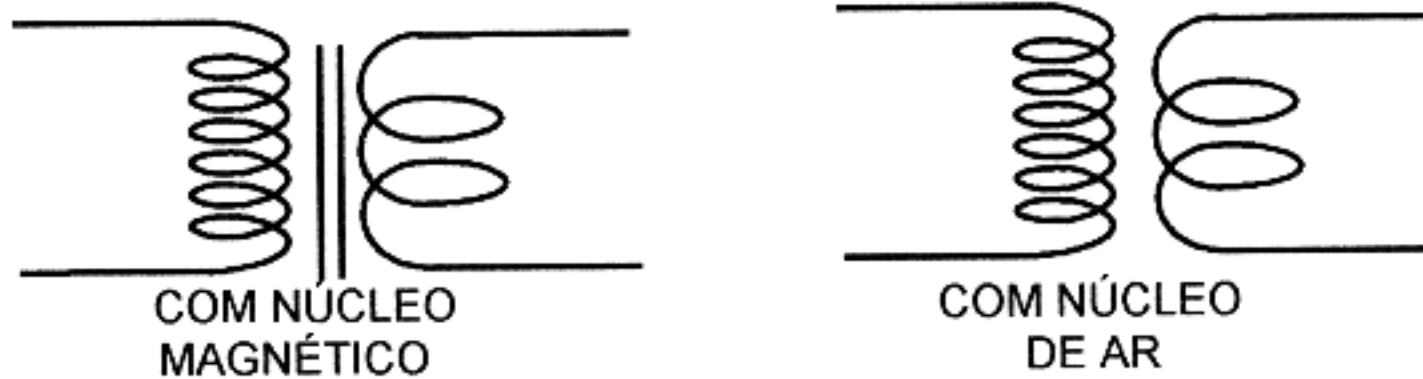
$$P_p = P_s + \underbrace{10\% \text{ de } P_s}_{\text{PERDAS NA TRANSFORMAÇÃO}}$$

**TOTAL DAS PERDAS = PERDAS NO BOBINADO + PERDAS NO FERRO**

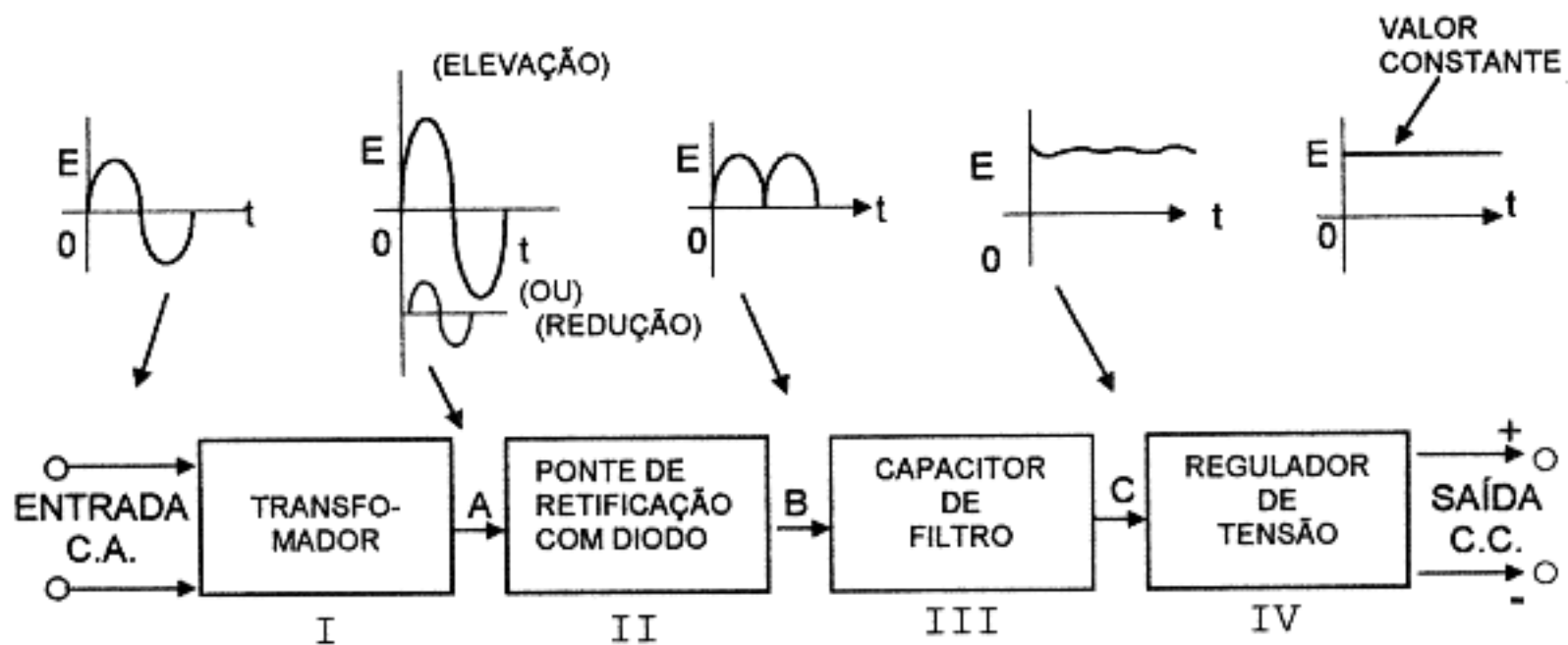
**CONCLUSÃO:**

O **rendimento** de um pequeno transformador de fonte de alimentação ( $P_p \leq 1 \text{ KVA}$ ) é de 80 a 90 %.

## SÍMBOLO DO TRANSFORMADOR



## 31. DIAGRAMA DE BLOCOS DE UMA FONTE DE CORRENTE CONTÍNUA (REGULADA)



I - O **transformador** recebe alimentação de corrente alternada (C.A.) da rede pública. Sua função é de **eleva** ou **reduz** o valor da **tensão** de acordo com o valor desejado na **saída** da fonte, obtendo-se em A uma C.A. de valor *maior* ou *menor* que o valor de entrada.

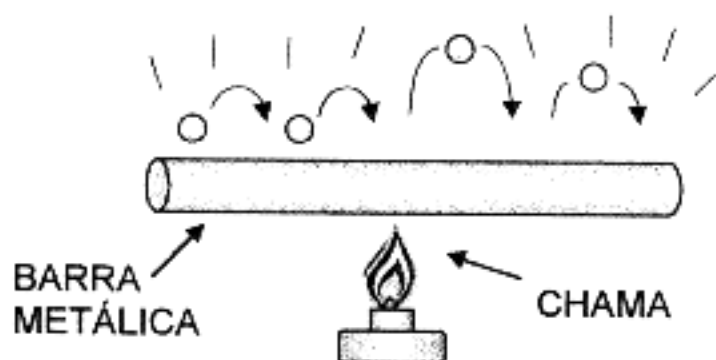
II - A **ponte de retificação** com **diodos** tem a função de **retificar** a C.A., obtendo-se em B uma tensão de C.C. **pulsante** de corrente da retificação em ponte ou de **onda completa**.

III - O capacitor de filtro serve para filtrar ou nivelar a tensão pulsante obtida em B tornando-a praticamente nivelada e com uma pequena porcentagem de ondulação localizada em C.

IV - O regulador de tensão deve **manter** a tensão sempre no mesmo valor E, **constante** independente das variações de corrente verificadas na **carga** ou circuito ligados (alimentados) na saída da fonte.

## 32. FUNCIONAMENTO DE UMA VÁLVULA DIODO

### a) NOÇÕES DE EMISSÃO TERMOIÔNICA

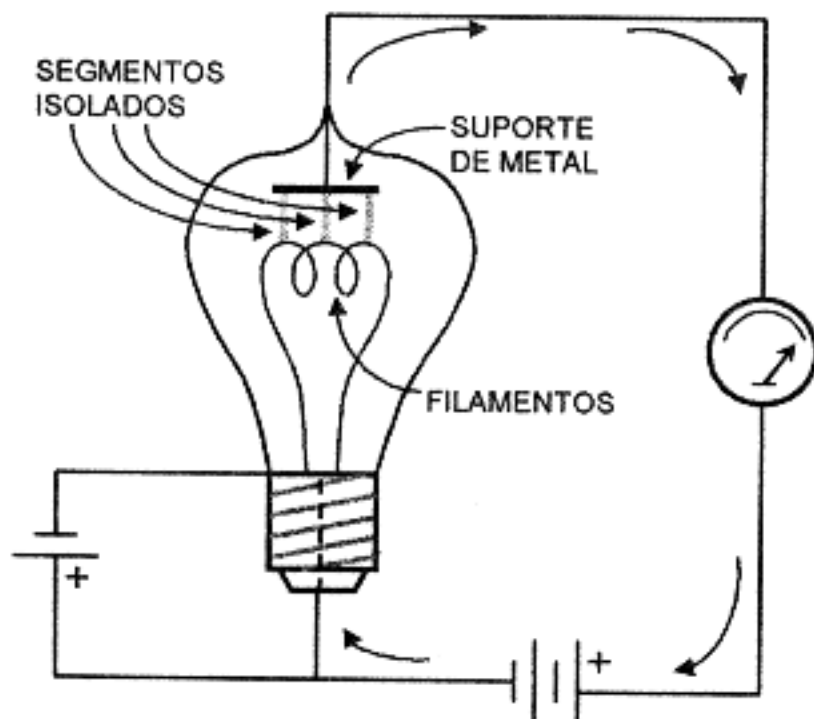


Aquecendo-se uma barra ou um fio metálico a uma *alta temperatura* (próxima ao seu *ponto de fusão*) aumenta-se a **energia cinética** (de movimento) dos seus elétrons.

Com a *elevação da temperatura*, os *elétrons* movimentam-se mais, tornando-se mais livres.

Nestas condições, como possuem *cargas de mesmo nome* (negativa), *mais se repelem* e podem "*saltitar*" livremente na superfície do metal em alta temperatura. Mas esses *elétrons* ainda não possuem energia suficiente para abandonar o metal aquecido e *retornam* novamente a ele, formando uma nuvem eletrônica chamada de **carga espacial**.

### b) INVENÇÃO DO DIODO



O MEDIDOR MOSTRA QUE HÁ CORRENTE PASSANDO DO FILAMENTO PARA O SUPORTE DE METAL.

O princípio em que se baseia o diodo foi descoberto a uns 110 anos atrás, *antes de se saber coisa alguma* sobre os elétrons.

*Thomas Edison* estava fazendo experiências com as *lâmpadas incandescentes* usando filamentos de carvão.

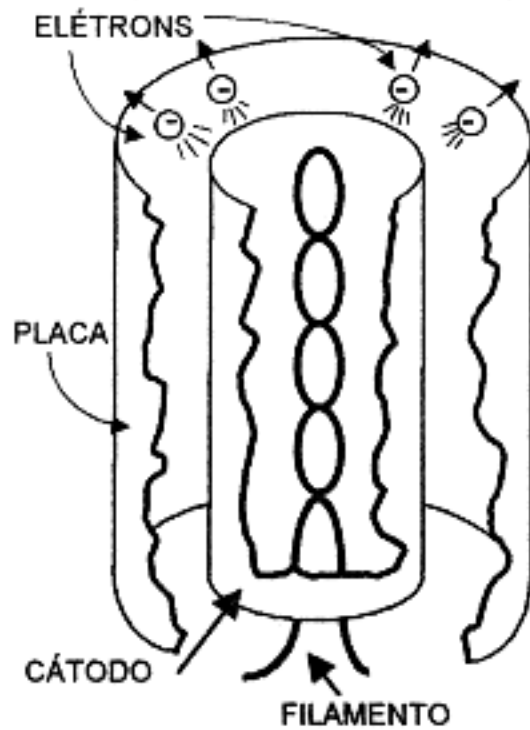
Em um esforço para prolongar a vida de suas lâmpadas, *Edison* construiu um *suporte de metal* e o prendeu ao frágil filamento, por meio de segmentos isolados.

Por uma razão desconhecida, ele ligou o **suporte de metal** ao terminal positivo de uma bateria e o *filamento* ao terminal negativo.

Com grande surpresa, ele observou que havia um *escoamento de corrente*.

Como então nada se sabia sobre elétrons, *Edison* não pôde entender sua descoberta, nem viu importância no fato. Passaram-se 21 anos antes que *Fleming*, cientista inglês, compreendesse o significado deste *escoamento de elétrons*.

Como notou que a *corrente* só passava *num sentido*, Fleming chamou o invento de Edison → *válvula*.



Portanto, o *diodo* é uma *válvula termoionica* e consta de um tubo de vidro fechado, contendo um elemento *emissor* de elétrons ligado ao pólo *negativo* de uma fonte de C.C. e um elemento *coletor* de elétrons, ligado ao pólo *positivo*.

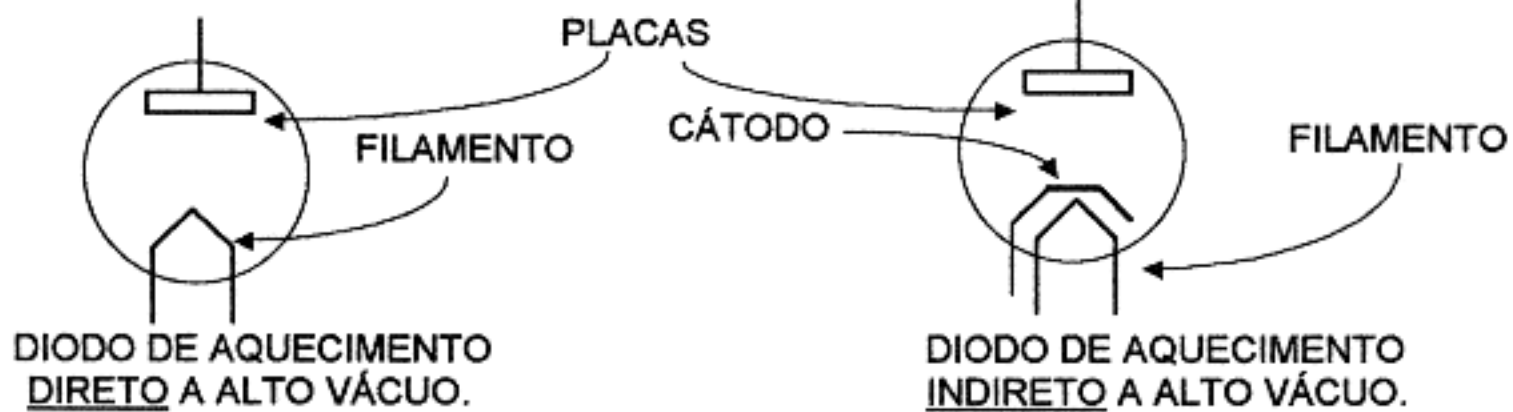
O elemento *emissor* de elétrons denomina-se *filamento* ou *cátodo* e o elemento *coletor* de elétrons é denominado *placa* ou *ânodo*.

O *ar* do interior da *válvula* é retirado para que o *filamento* possa operar em *alta temperatura* ( $\cong 2.500^{\circ}\text{C}$ ) sem queimar e evitar que as moléculas de ar dificultem o escoamento de elétrons do *cátodo* para a *placa*.

Há *diodos* sem *cátodo*: neste caso, é o próprio *filamento* que emite *elétrons*.

A função do filamento nas válvulas com *cátodo* é de somente aquecer o *cátodo* para que este emita elétrons.

#### SÍMBOLO DAS VÁLVULAS DIODO:



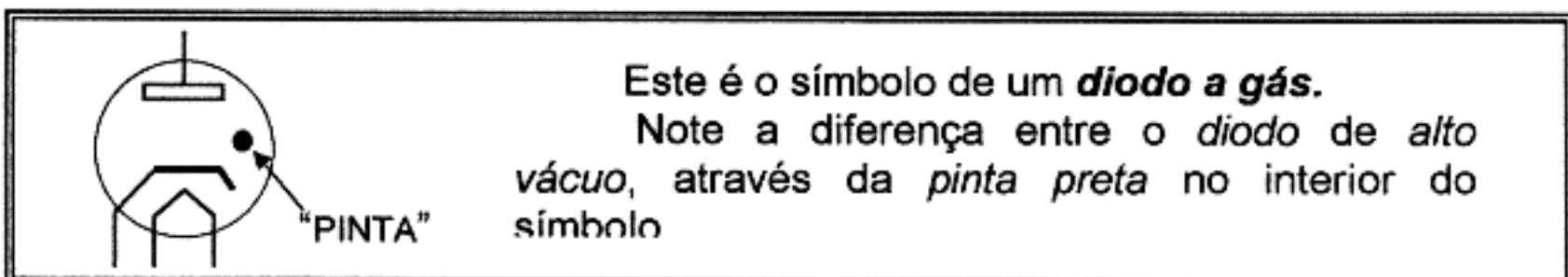
A vantagem dos *diodos* que contêm *cátodo* e *filamento* separados é a de que o *circuito elétrico* do *cátodo* pode ser separado do *circuito elétrico* do *filamento*.

As *válvulas diodo* estudadas até aqui são chamadas *diodos a vácuo* (com retirada do *ar* interno).

Nem todos os *diodos* são *a vácuo*. Em alguns casos, depois de retirar o *ar* do interior da *válvula*, antes da selagem, é colocada dentro do tubo uma pequena quantidade de *gás* quimicamente *inerte*, como o neônio e o argônio.

Alguns tipos de *válvulas* usadas contém, no seu interior, uma pequena quantidade de *mercúrio*.

A *baixa pressão* interna da *válvula* faz o *mercúrio* vaporizar e o seu *vapor* age da mesma maneira que o *gás inerte*.



Este é o símbolo de um *diodo a gás*.

Note a diferença entre o *diodo* de *alto vácuo*, através da *pinta preta* no interior do símbolo

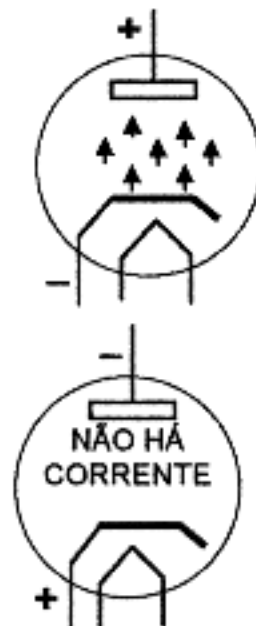
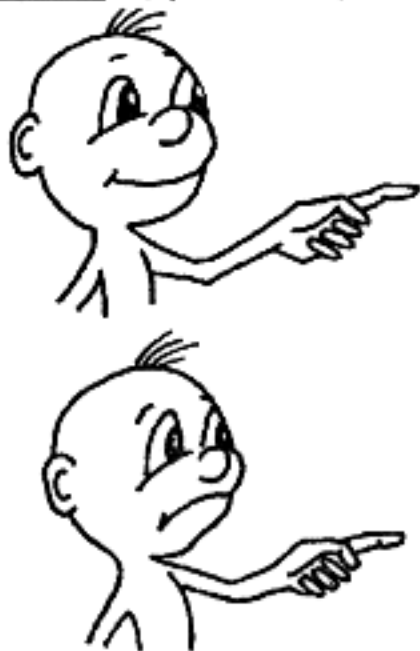


A função do **gás** ou do **vapor de mercúrio** é de manter a tensão de saída da válvula **constante** quando varia a corrente (de carga) do circuito alimentado pela fonte que contém a válvula.

**FUNCIONAMENTO:** A principal função de uma válvula diodo é retificadora, isto é, de transformar uma tensão de C.A. em uma tensão pulsativa de C.C.

Se um diodo for ligado (cátodo e placa) aos terminais de uma linha de alimentação de C.A. de 60 ciclos/seg, a sua placa fica **positiva** 60 vezes por segundo e também **negativa** 60 vezes por segundo.

Quando o diodo é ligado aos terminais do enrolamento de alta tensão do transformador acontece o mesmo. Apenas a tensão de entrada do diodo é muito mais alta e, portanto, a C.C. pulsativa resultante também, será mais alta.

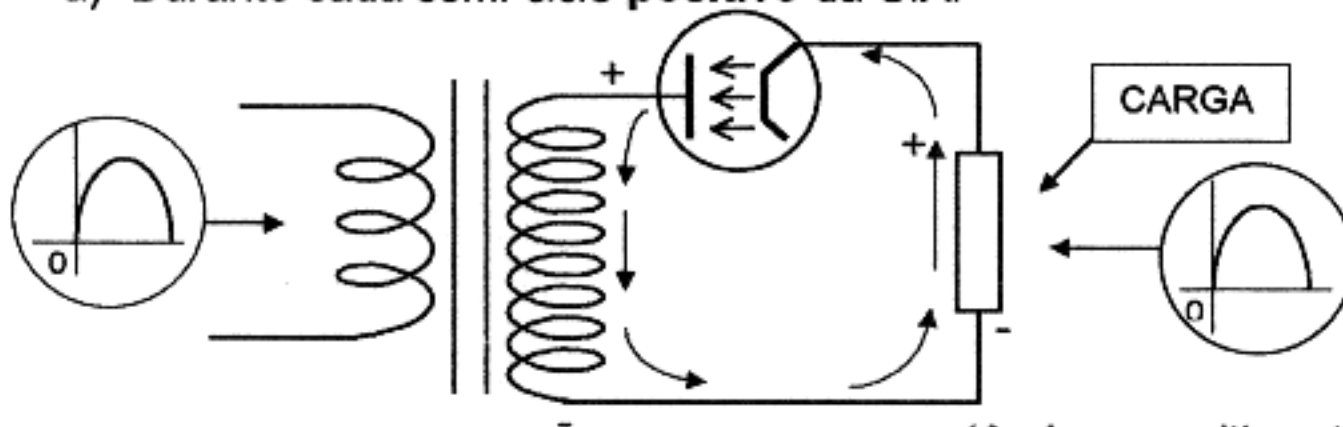


O diodo só permite a passagem de elétrons quando a placa está **positiva** em relação ao cátodo.

O diodo não permite passagem de elétrons quando a placa está **negativa** em relação ao cátodo. (De acordo com a lei fundamental da eletricidade).

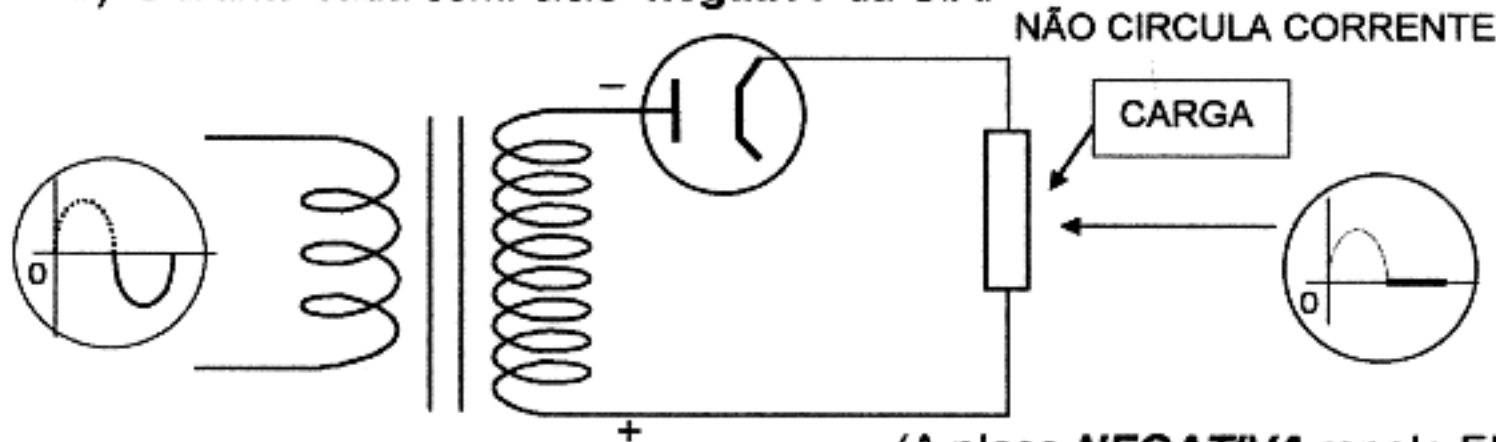
Quando o diodo é ligado em um circuito com transformador, temos:

a) Durante cada semi-ciclo positivo da C.A.



(A placa positiva atrai elétrons.)

b) Durante cada semi-ciclo negativo da C.A.



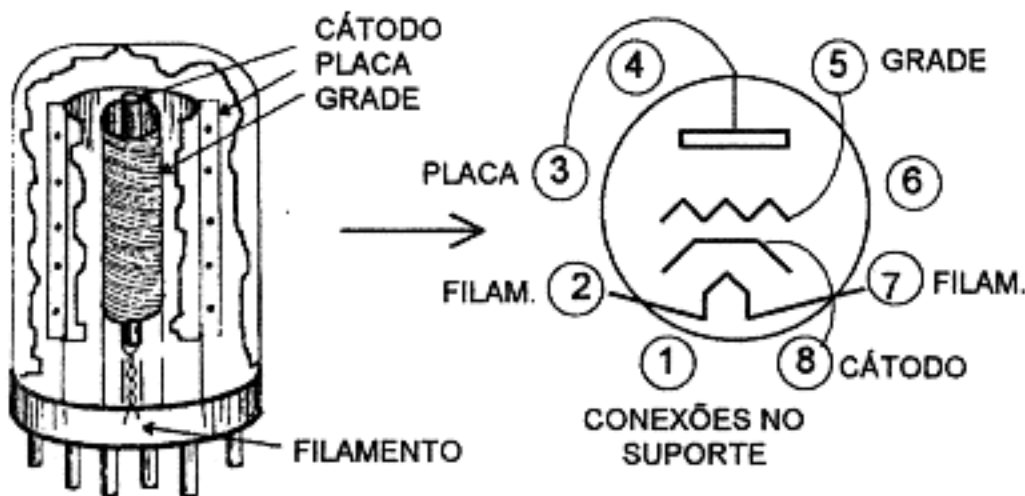
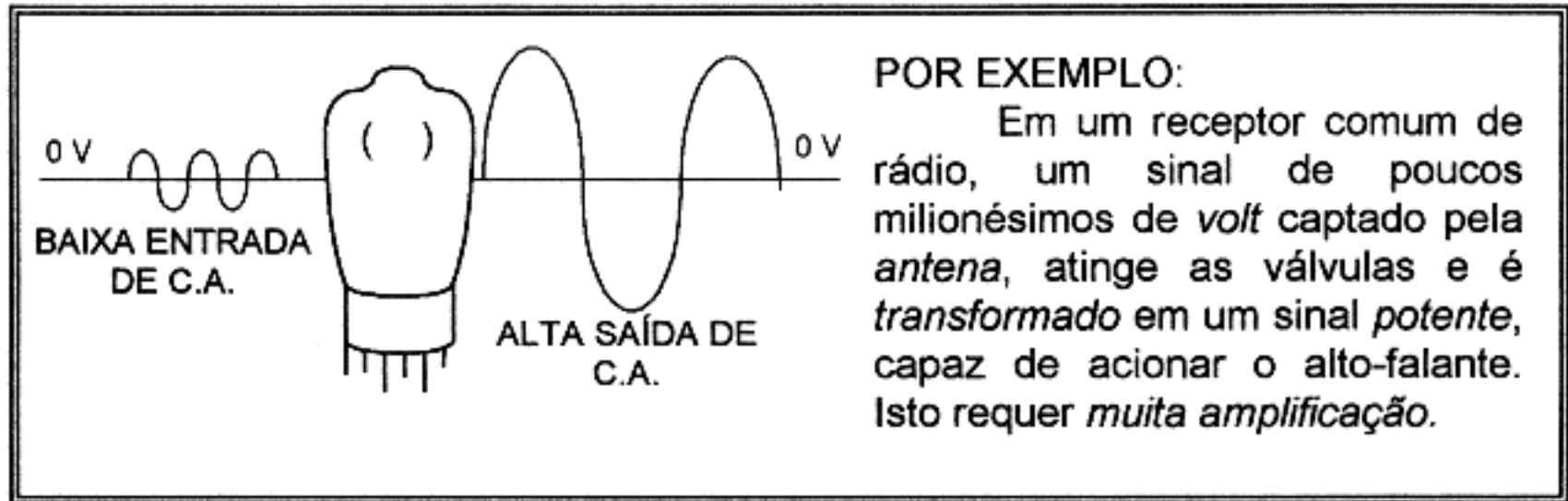
(A placa **NEGATIVA** repele ELÉTRONS.)

Este circuito é chamado de retificador de meia onda, por que só aproveita metade de cada ciclo para produzir um pulso de C.C.



### 33. FUNCIONAMENTO DA VÁLVULA TRIODO

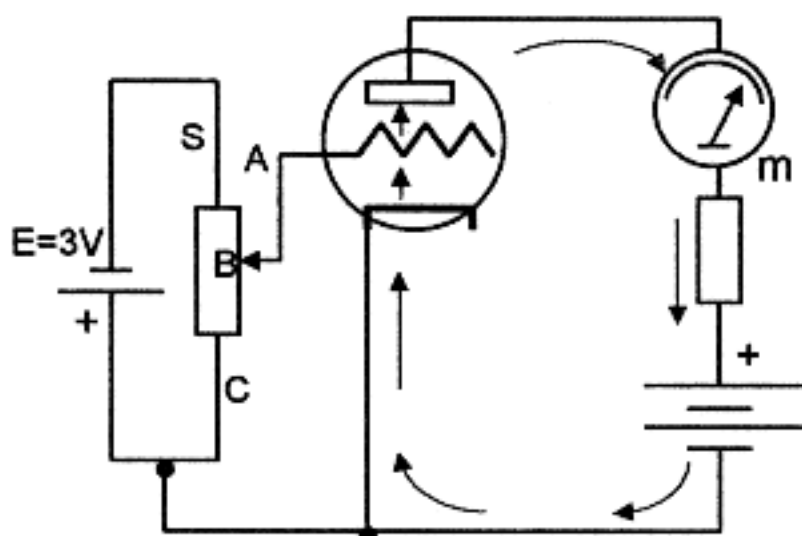
Uma das mais importantes aplicações das *válvulas eletrônicas* consiste na sua utilização para transformar uma pequena *tensão de entrada* em uma *tensão maior de saída*. Este processo de *aumento de tensão* chama-se **amplificação**.



O **triodo** é uma *válvula* de construção semelhante ao *diodo*, acrescido de mais um eletrodo – a **grade**.

Este elemento adicional introduzido para formar o **triodo** chama-se grade ou mais corretamente "grade de controle". Trata-se de um fio bastante delicado enrolado isoladamente em espiral em redor do *cátodo*, de modo a permitir a circulação de *corrente* da válvula através do espaço entre espiras.

#### FUNCIONAMENTO:



A figura ao lado mostra o circuito de um *triodo* devidamente polarizado.

A *placa* recebe um potencial *positivo* a fim de atrair *elétrons* (*negativos*) do *cátodo*.

Esta *corrente* de *elétrons* passa pelas pequenas fendas da *grade*.

Para o seletor *tensão* ajustado no ponto C, a *grade* recebe um potencial (*tensão*) igual ao do *cátodo*.

(Diferença de potencial) *grade* - *cátodo* = **zero**. Nestas condições, a *corrente* de *placa* é **máxima**.

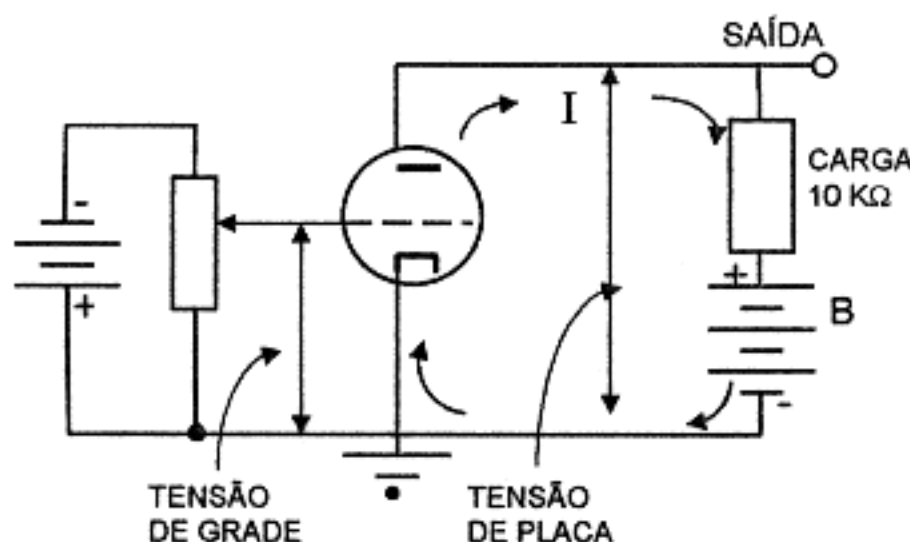
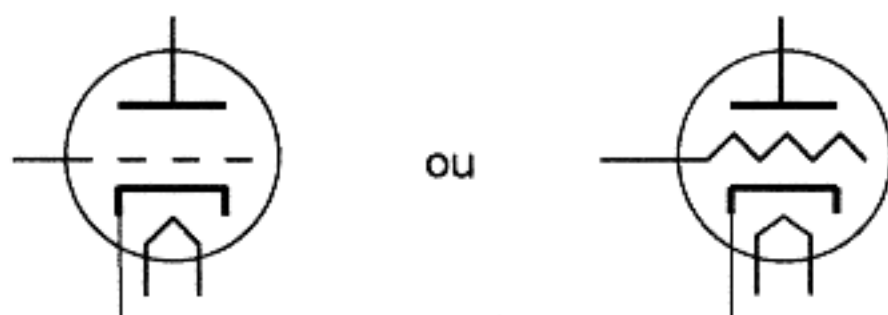
Ajustando-se o seletor de *tensão* em B, a *grade* é *polarizada negativamente* com, digamos, -1,5V. Esta *tensão negativa de grade impede* a passagem de muitos *elétrons (cátodo → placa)* e **diminui** sensivelmente a corrente de placa indicada no miliamperímetro m.

A menor corrente de *placa* é obtida quando se ajusta o seletor de *tensão* em A, situação em que a *grade* torna-se *mais negativa* em relação ao *cátodo*, ou seja menos 3V.

Então podemos deduzir que a *grade* de um *triódo* comporta-se como se fosse um *registro* ou válvula de controle da *corrente de placa*. A *regulagem* desse *registro* é feita através do seletor de *tensão de grade S*.

Vejamos, agora, o funcionamento do **triódo** como **amplificador**.

SÍMBOLO DO TRIODO:



O circuito ao lado ilustra como se efetua a **amplificação**.

A corrente *cátodo-placa* circula através do resistor de carga que está em *série* com a *placa*, originando uma queda de tensão nesse *resistor*.

Portanto, enquanto a corrente circula, a *tensão de placa* é inferior a + B, de um valor igual à queda de tensão através da *carga*.

Nestas condições, uma pequena variação na *tensão de grade* origina uma grande variação na *corrente de placa* resultando uma correspondente variação na queda de tensão através do resistor de carga.

Se aumentar a queda de tensão no *resistor de carga*, a *tensão de placa* diminuirá proporcionalmente.

Estas variações da *tensão de placa* chamam-se **tensão de saída**.

**CONCLUSÃO:** Uma variação na **tensão de grade** ocasiona uma variação  *muito maior* da **tensão de placa** e...

**O TRIODO AMPLIFICA !!!**

### EXEMPLO NUMÉRICO:

Ao lado temos:

Tensão de *grade*: -10 V

Resistor de *carga*: 10 K $\Omega$

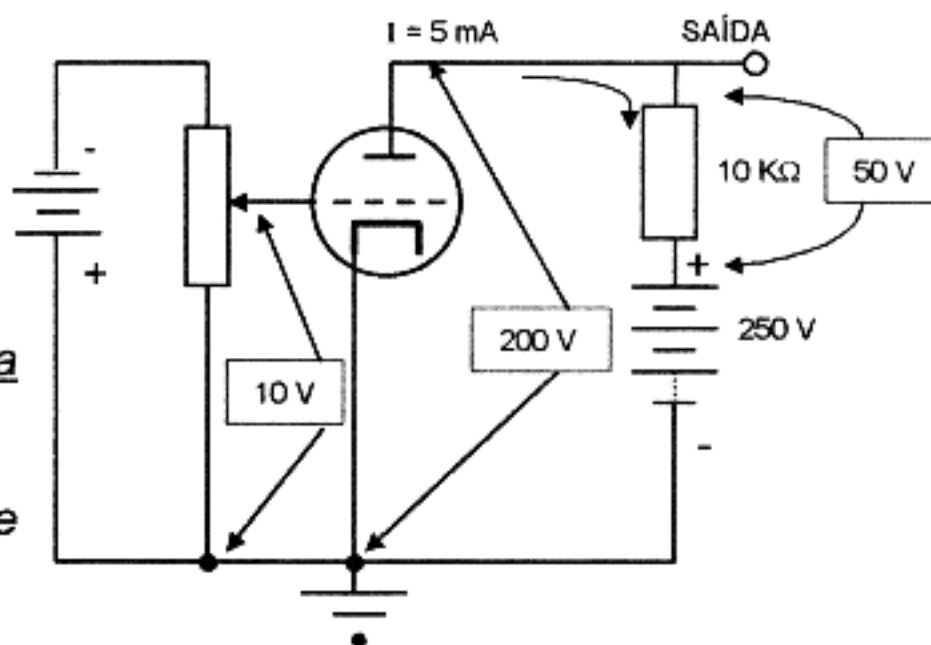
Tensão +B: 250 V

corrente de *placa*: 5 mA

Esta corrente causa uma queda de tensão, através da carga, de:

$$E = R \cdot I = 0,005 \text{ A} \times 10.000 \Omega = 50 \text{ V}$$

Em conseqüência, a *tensão de placa* vale: **250 V - 50 V = 200 V**



Fazendo-se variar a *tensão de grade* de -10 V até - 5 V (*menos negativa*), como indica no circuito ao lado, teremos:

*tensão de grade*: - 5 V

Resistor de *carga*: 10 k $\Omega$

*tensão* + B: 250 V

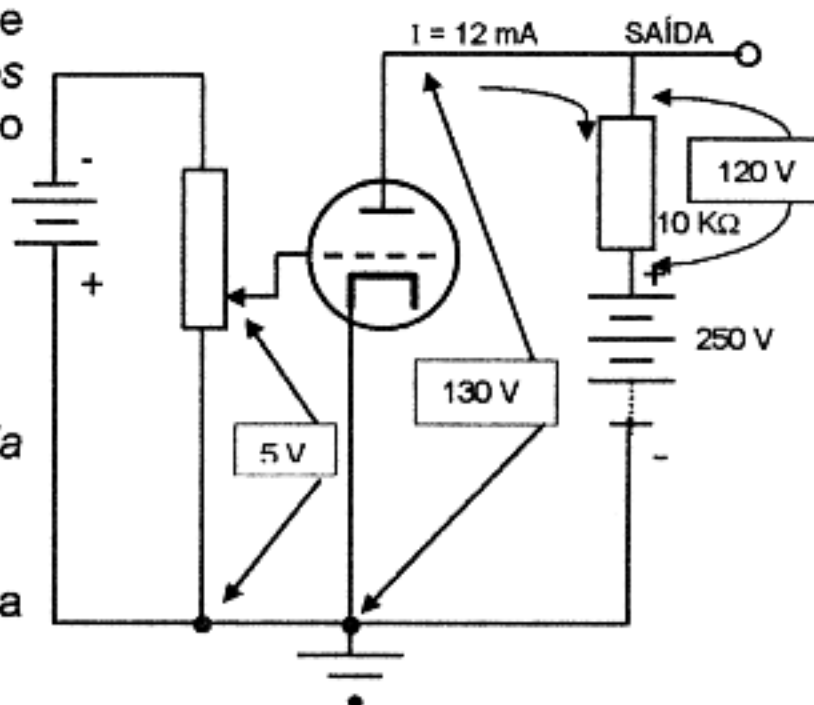
corrente de *placa*:  $\cong$  12 mA

A nova corrente causa uma queda de tensão, através da carga, de:

$$E = R \cdot I = 0,012 \text{ A} \times 10.000 \Omega = 120 \text{ V}$$

Conseqüentemente, teremos a *tensão de placa*:

$$250 \text{ V} - 120 \text{ V} = 130 \text{ V}$$



Assim, pois, uma variação na **tensão de grade** de apenas 5 V (10 V - 5 V) causou uma variação de 70 V (120 V - 50 V) na **tensão de placa**, ou seja, uma **amplificação** igual a  $70 / 5 = 14$ . Este número (14) é o **fator de amplificação** representado pela letra grega  $\mu$  ( $\rightarrow$  mu).

Conforme calculado,

$$\mu = \frac{\text{VARIAÇÃO DA TENSÃO DE PLACA}}{\text{VARIAÇÃO DA TENSÃO DE GRADE}}$$

**FATOR DE AMPLIFICAÇÃO** deste TRIODO.

## 34. FUNCIONAMENTO DE UM DIODO SEMICONDUTOR

### a) SEMICONDUTORES

Os componentes conhecidos sob o nome generalizado de **semicondutores** são corpos sólidos que possuem uma *condutividade* intermediária entre a dos *metais* e a dos *isolantes*.

De modo simplificado, um **semicondutor** permite que a *corrente flua facilmente* em um *sentido*, enquanto cria *enorme oposição* ao fluxo de corrente em *sentido oposto*.

Esta qualidade, própria dos *semicondutores*, é obtida através de materiais como o *silício* e o *germânio*, com extremo grau de *pureza*, aos quais se aplica, na fase final de produção, uma quantidade controlada de *impurezas*.

Isto faz com que o *produto* se comporte como *isolante* em um sentido e como *condutor* no sentido oposto da *corrente elétrica*.

Em primeira aproximação, os *semicondutores* podem ser divididos em:



### b) DIODOS

Os *diodos* são utilizados para:

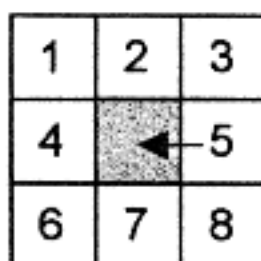
- RETIFICAÇÕES
- COMUTAÇÕES
- DETECÇÕES
- EFEITOS LUMINOSOS
- VARIAÇÕES DE CAPACITÂNCIA
- OUTROS FINS

Os *diodos* possuem *dois* ou *mais* eletrodos, conforme seja seu *tipo* e *função* e podem ser divididos em:

- DIODOS DE PEQUENO SINAL (Para tensões e correntes baixas).
- DIODOS DE POTÊNCIA (Para tensões e correntes elevadas).
- DIODOS FOTOSSENSÍVEIS (Que reagem à presença da luz).
- DIODOS CAPACITIVOS (Que modificam a capacidade em função de uma tensão).
- DIODOS ZENER (Para regulação de tensão).

### c) MECANISMO DE CONDUÇÃO

Nos *semicondutores* existem elétrons (carregados negativamente) e *ausência de elétrons* na estrutura reticular → buracos, que se comportam como se tivessem uma carga *positiva* de mesma grandeza que a carga *negativa* do *elétron*.



A figura ao lado ilustra o movimento de *cargas* em um *diodo* semicondutor.

Sempre que um *quadrado* (→ *elétron*) se move para a *esquerda*, um espaço vago (→ *buraco*) se desloca para a *direita*.

Sob a influência de um *campo elétrico*, os **buracos** se deslocam em *sentido contrário* ao dos **elétrons**, isto é, vai um *elétron* num sentido e vem um *buraco* em sentido oposto.

Se durante a produção de um semicondutor de *silício*, se inclui no *crystal* uma pequena quantidade de *impureza*, tal como fósforo, cada átomo da impureza contribui com um *elétron livre* disponível para a *condução*.

Neste caso dizemos que o cristal foi *dopado* e adquiriu a configuração de *condutor de elétrons*, sendo denominado silício do tipo N (negativo).

As impurezas que liberam elétrons denominam-se *doadores*.

O silício N tem melhor condutividade *em um sentido*, que o silício puro.

Outras impurezas, tais como o *boro*, acrescentam um *buraco* ao cristal, pela recepção de *um elétron* por átomo de impureza, criando, assim, *buracos* adicionais no cristal semiconductor.

Neste caso, diz-se que o material é condutor de buracos, ou silício do tipo P (positivo).

As impurezas que criam *buracos*, chamam-se *aceitadores* (ou *receptores*).

O silício P tem *melhor condutividade* em um sentido, que o silício puro. Este sentido é **contrário** ao do material tipo N.

Os *elétrons* e os *buracos* chamam-se **portadores**. Assim temos:

Em um material TIPO N

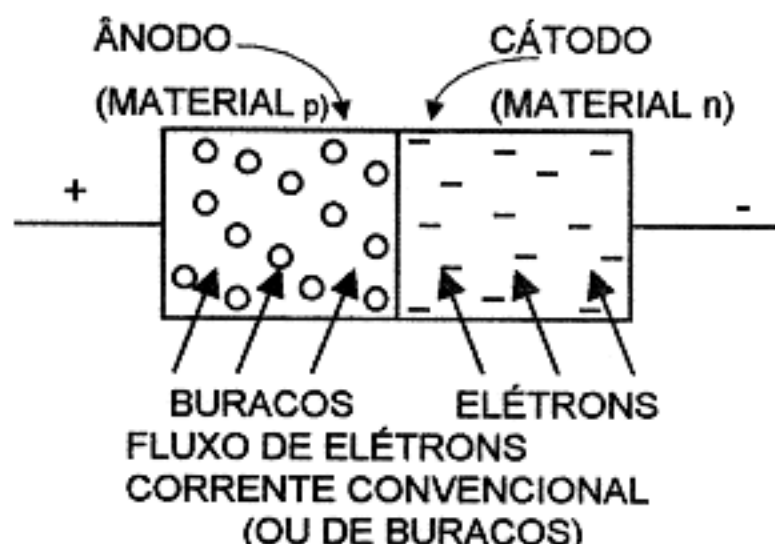
- Elétrons são portadores *majoritários*.
- Buracos são portadores *minoritários*.

Em um material TIPO P

- Buracos são portadores *majoritários*.
- Elétrons são portadores *minoritários*.

#### d) UNIÃO PN

O *diodo* semiconductor é uma união PN ou *diodo de união*. O ânodo do diodo de união é sempre um material tipo P, (*positivo*) enquanto o cátodo é sempre um material tipo N (*negativo*).



Os materiais de tipo **P** e de tipo **N** formam o **diodo união PN** da figura ao lado.

A *corrente* flui, quando o ânodo P está *positivo* em relação ao cátodo N → **polarização direta**.

SÍMBOLO:

Quando o ânodo P está *negativo* em relação ao cátodo N ocorre o *bloqueio* → **polarização inversa**.

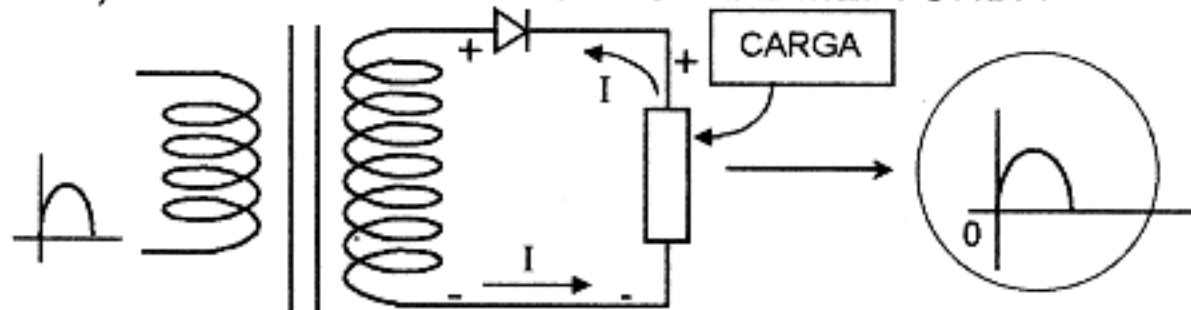


### CONCLUSÃO:

A união PN é um elemento de alta resistência no sentido de polarização inversa.

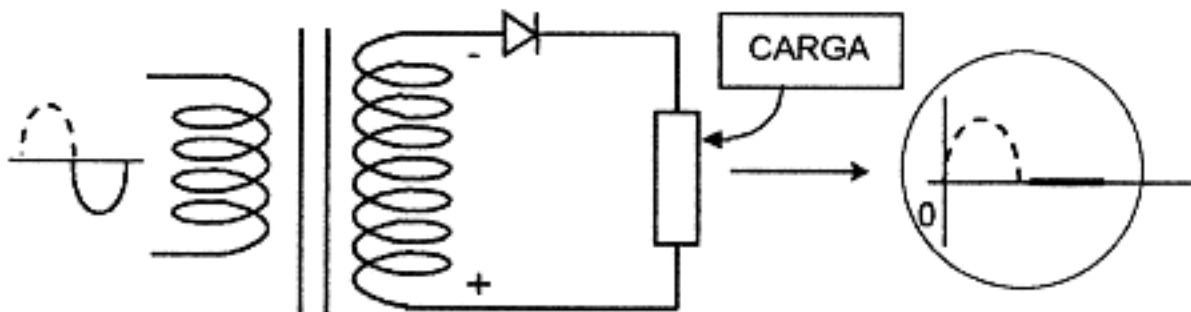
Essa mesma união PN é um elemento de baixa resistência no sentido de polarização direta.

#### e) USO COMO RETIFICADOR DE MEIA ONDA



(POLARIZAÇÃO DIRETA)

Durante cada **semiciclo positivo** de C.A.



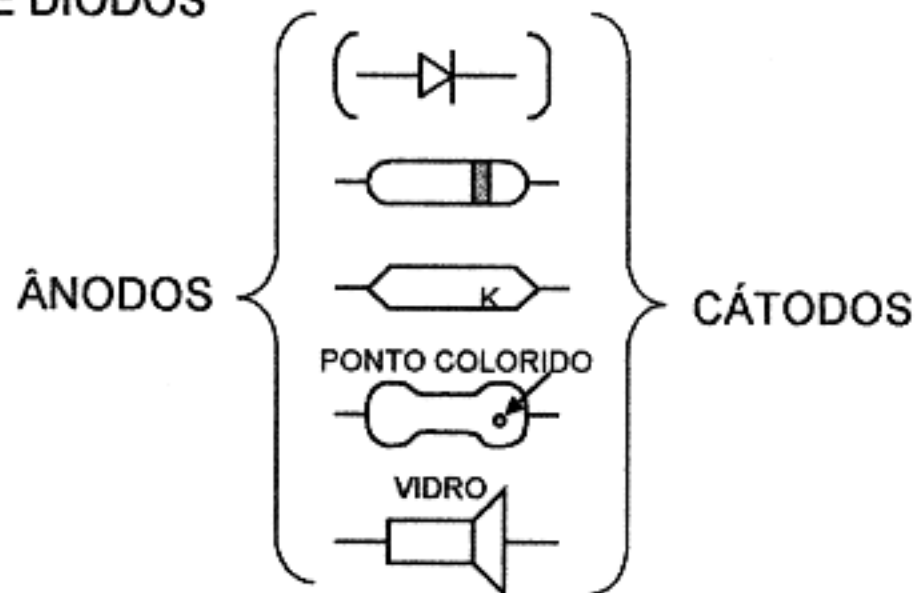
(POLARIZAÇÃO INVERSA)

Durante cada **semiciclo negativo** de C.A.

-NÃO CIRCULA CORRENTE!

OBS.: Circuito análogo ao do *retificador com válvula diodo*.

#### f) IDENTIFICAÇÃO DE DIODOS



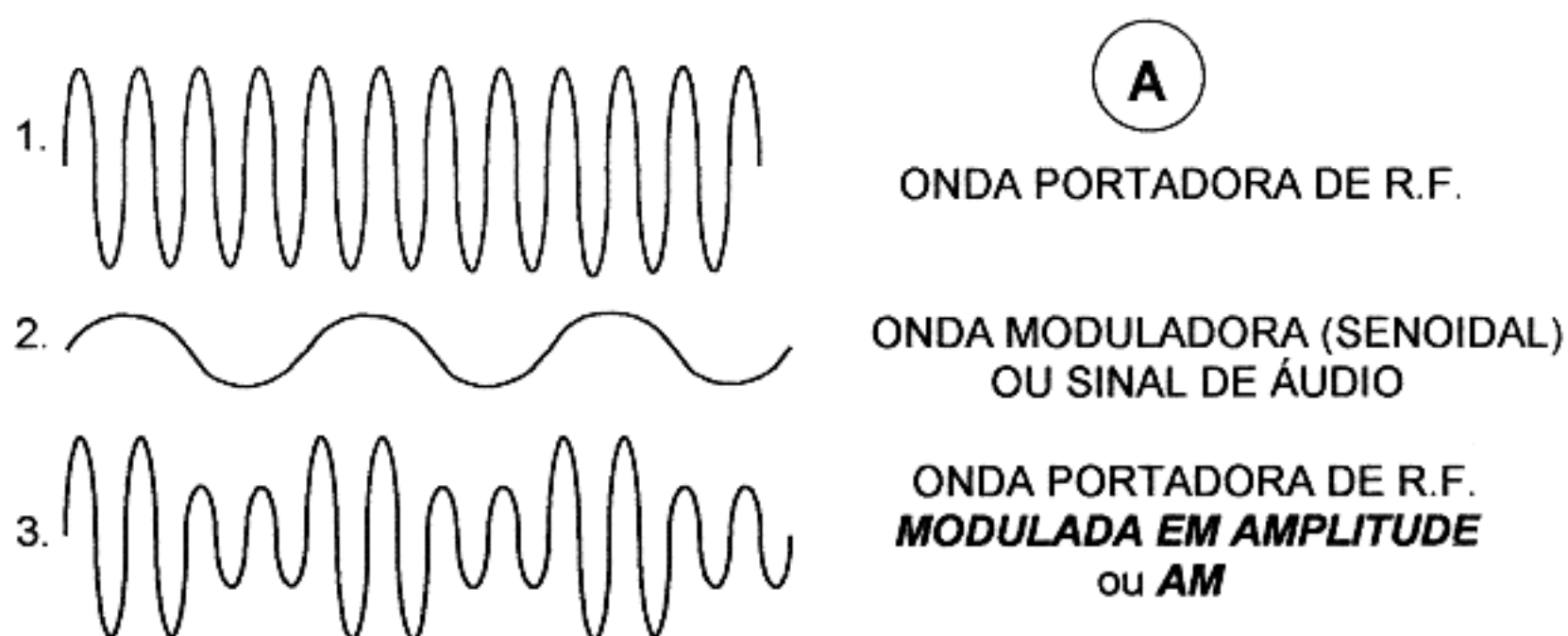
## 35. MODULAÇÃO DE UMA ONDA

A **modulação** consiste em *variar* as características da onda de *radiofrequência* em função do *sinal* a ser transmitido.

A natureza deste *sinal* pouco influi no processo de *modulação*.

O que determina o tipo de *modulação* a empregar é o *procedimento* pelo qual este *sinal* dá uma característica distinta à onda de *radiofrequência*, característica esta que permite ao *receptor* converter novamente a onda de *radiofrequência* ( R.F.) *modulada* no *sinal original*.

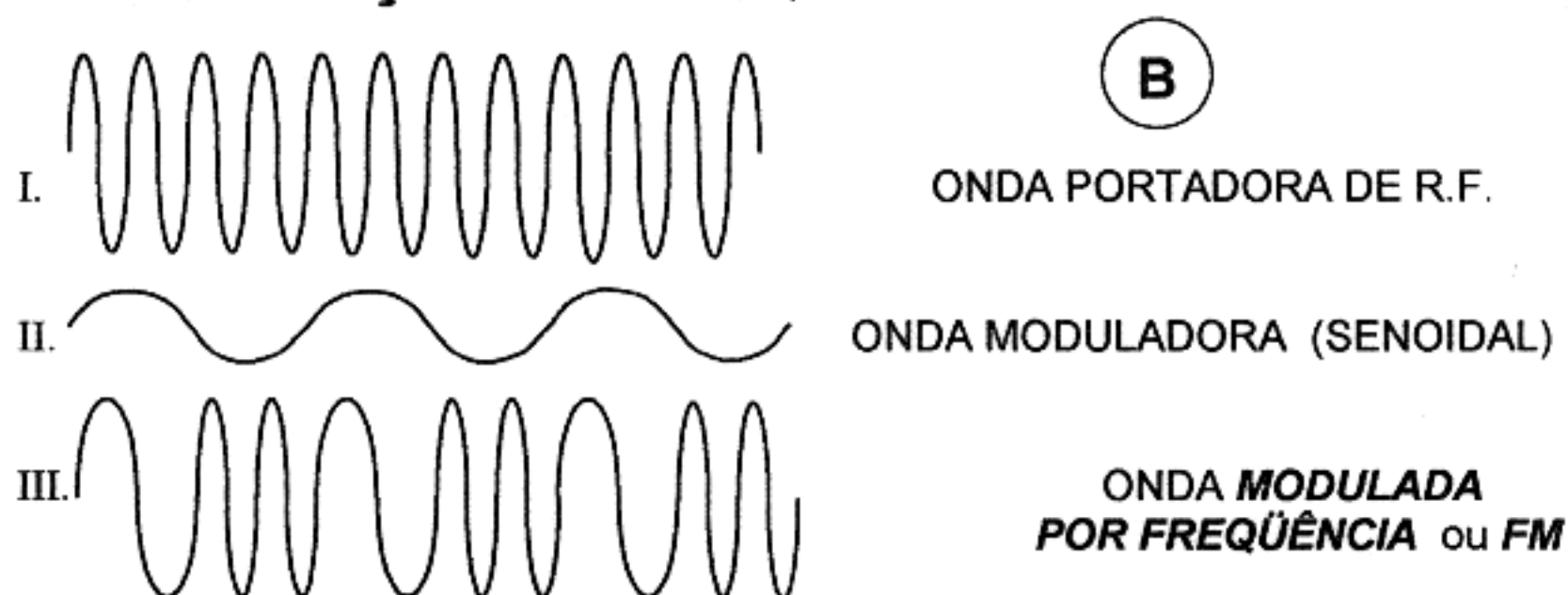
### 36. MODULAÇÃO POR AMPLITUDE



A curva 3., obtida num osciloscópio, resulta da ação da curva 2. sobre a curva 1.

Note que, após a *modulação*, a *onda* de R.F. modulada varia, aproximadamente, desde zero a um ritmo constante, mas a intensidade dos ciclos individuais de R.F. é proporcional à **amplitude** da *tensão de modulação*.

### 37. MODULAÇÃO POR FREQUÊNCIA



A *onda portadora* de R.F. representada em I. da fig. "**B**" é a mesma da fig. "**A**" 1., mas aparece em III, **modulada por frequência** pela mesma tensão de **modulação** 2. da fig. "**A**" ou II. da fig. "**B**".

Em III. pode-se ver que a tensão de **modulação** de uma polaridade faz **diminuir a frequência** da *portadora* como é representado, mostrando que ciclos individuais de R.F. da *portadora* aparecem *mais espaçados*.

Uma tensão *moduladora* de polaridade oposta faz **umentar a frequência** observando-se que os ciclos de R.F. estão *mais juntos*, ou seja, há maior número deles num dado intervalo de tempo.

As figuras "**A**" e "**B**" colocam em contraste duas importantes características das *ondas moduladas em amplitude e em frequência*.

Primeiramente, vê-se que enquanto a *amplitude (potência)* da *onda* varia na transmissão com **AM**, em **FM** não se produz tal variação.

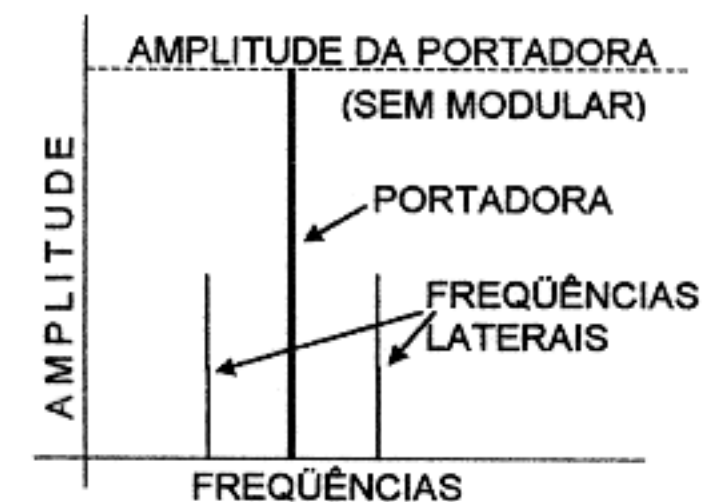
Em muitos casos, esta vantagem da **FM** é provavelmente de igual ou maior importância que a conhecida capacidade de *redução de ruídos* do sistema. Quando se deseja uma *modulação de amplitude de 100%*, a *potência* média de saída do transmissor deve ser aumentada de 50%. Esta potência de saída adicional deve ser proporcionada seja pelo próprio *modulador*, no sistema de alto nível ou no de baixo nível, pelo funcionamento de um ou mais passos do transmissor a tão baixo nível de saída, que sejam capazes de produzir saída adicional sem distorção.

Por outro lado, um transmissor com FM requer uma quantidade *insignificante* de potência do *modulador* e não necessita proporcionar nenhuma energia adicional que aumente a potência de saída nas cristas de modulação.

A segunda característica das ondas moduladas em FM ou em AM, colocadas em contraste nas figuras "A" e "B", é que ambos os tipos de modulação produzem **distorção** da portadora de R.F., isto é, depois da modulação, os ciclos de RF não são tão *senoidais* como seriam se não houvesse outras frequências além da *portadora*.

### 38. DIFERENÇA ENTRE MODULAÇÃO DE DUPLA FAIXA LATERAL (DSB) E FAIXA LATERAL SIMPLES (SSB)

No caso da *modulação de amplitude (AM)*, pode demonstrar-se que há somente *duas frequências* adicionais que são *laterais*, localizadas uma a cada lado da *portadora* e separadas desta por um intervalo de frequência igual à *frequência de modulação*.



FREQUÊNCIAS LATERAIS EM AM

#### OBS.:

No caso de transmissores de AM para uso da transmissão de voz, a *frequência de modulação* coincide com o espectro de *audiofrequência* (frequências audíveis) correspondentes às palavras a serem transmitidas.

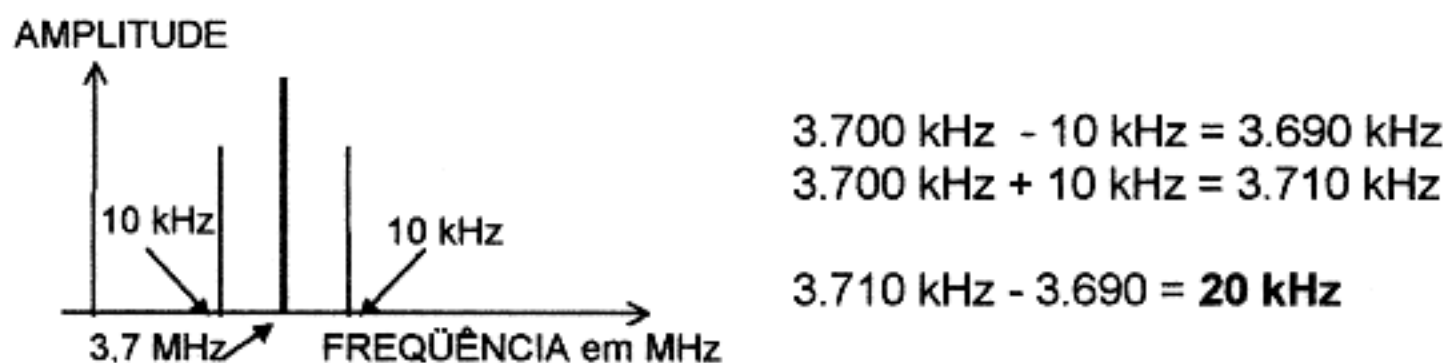
O espectro dessas *audiofrequências* vai de algumas centenas de ciclos por segundo ou hertz (sons graves) até um máximo de 20.000 ciclos por segundo ou 20 kHz (sons agudos): é o sibilado das sílabas contendo ss, ç e x.

Para cada frequência (de áudio) moduladora, com AM, é produzido *um par de frequências laterais*.

Estas estão espaçadas da *portadora* de um intervalo igual ao da *frequência mais alta* (agudos) da *modulação* e sua amplitude é diretamente proporcional à amplitude da *modulação*.

EXEMPLO: Se a frequência da *portadora* for de 3.700 kHz e a *frequência mais alta da modulação* for de, digamos, 10.000 c/s ou 10 kHz, será produzido um par formado por *frequências laterais* 10 kHz acima da frequência DA PORTADORA e 10 kHz abaixo desta.

Isto significa que o sinal transmitido ocupará uma largura da faixa de R.F. (radiofrequência) de:



Em outras palavras: - Ao emitir sons destas frequências o sinal emitido ocupará uma largura de faixa (no dial do receptor) de 20 kHz, o que seria indesejável (por ser larga demais).

A intensidade (ou amplitude) da *portadora* não varia durante a modulação, mas a intensidade das frequências laterais (*bandas laterais*) depende da *porcentagem de modulação*.

Com 100% de modulação, a potência das *frequências laterais* é igual à **metade da potência** da portadora.

O sinal (informação), a ser transmitido, acha-se contido unicamente nas *bandas laterais* e a *portadora* é, apenas, uma *onda* de R.F. cuja função é a de proporcionar um suporte para as *bandas laterais*; é possível eliminar a mesma, se dispusermos de algum meio para inserir no receptor uma *portadora* produzida nele.

Suprimindo-se a *portadora* e transmitindo-se ambas *laterais* pelo sistema de **Dupla Faixa Lateral** → DFL, *Double Side Band* ou **DSB**, é necessário que a *portadora* inserida no receptor por um oscilador local, seja da mesma frequência que a da portadora suprimida.

Mas, como *ambas bandas laterais* transmitem a mesma informação (*sinal*), é possível eliminar também *uma* das duas *bandas laterais*. Neste caso, a *portadora* gerada pelo oscilador local, pode ter uma frequência aproximadamente *igual* à da *portadora suprimida*, já que uns poucos ciclos de diferença não alteram a inteligibilidade do *sinal* no receptor.

Na prática, elimina-se sempre a *portadora* no transmissor, mas a *banda lateral desnecessária* pode ser suprimida no transmissor ou no receptor.

O sistema de comunicações que utiliza uma só das *bandas laterais*, com eliminação da portadora, denomina-se sistema de **Banda Lateral Única** → BLU, **Faixa Lateral Simples** → FLS ou **Single Side Band** → SSB.



## 39. DIFERENÇA ENTRE LINHA DE TRANSMISSÃO BALANCEADA E DESBALANCEADA

As linhas de alimentação (FEEDERS) que transferem a energia produzida pelo transmissor à antena recebem o nome de **linhas de transmissão**.

Estas linhas de ligação entre transmissor e a antena, não irradiam energia e somente devem transferir a corrente de RF gerada pelo transmissor à antena, com o máximo de rendimento possível.

As linhas de transmissão podem ser de dois tipos básicos:

LINHAS DE TRANSMISSÃO  $\left\{ \begin{array}{l} \text{BIFILAR (SIMÉTRICA)} \\ \text{CONCÊNTRICA (ASSIMÉTRICA)} \end{array} \right.$

A *linha bifilar aberta (simétrica)* consiste de dois condutores cilíndricos, geralmente de cobre, separados entre si por uma distância que varia entre 2,5 a 50 cm, por meio de isoladores de vidro, cerâmica (e outros) de baixas perdas, que possam manter os condutores satisfatoriamente rígidos.

As linhas de transmissão do tipo **aberto** ou *simétricas (balanceadas)* são muito eficientes e suas perdas são muito reduzidas. São indicadas para frequências inferiores a 50 MHz. Em frequências mais elevadas, sua irradiação é apreciável, mas é possível utilizá-las em frequências de até 150 MHz, sem problemas.

A linha formada por dois condutores idênticos que usa o ar como dielétrico, denomina-se **linha bifilar aberta**, mesmo que os dois condutores sejam *canos* em lugar de fios.

As linhas deste tipo podem transferir energia de RF com potências de até 2,5 kW, usando-se condutores de fio de cobre de 2 mm de diâmetro (fio nº 12).

Variando-se o diâmetro dos condutores e a distância entre eles, conseguem-se impedâncias de 150 a 650 ohms.

As perdas neste tipo de linha são mínimas (da ordem de 0,2 dB cada 30 m de comprimento em frequências até 100 MHz).

As *linhas bifilares retorcidas* (cabo flexível para luz ou telefone) pertencem a esta categoria mas apresentam elevadas perdas: ( $\cong$  3 dB cada 30 m de comprimento em frequências de até 5 MHz e de 12 dB até 30 MHz, para linhas bem secas). Sua impedância característica pode variar entre 100 e 150 ohms, para potência máxima de 1 kW.

Também pertencem a esta categoria as **linhas bifilares com dielétrico de polietileno**, denominadas linhas de 300 ohms.

As **linhas concêntricas (assimétricas)** são formadas por um condutor interno de cobre, geralmente multifilar, rodeado por outro condutor externo, separados por uma isolação adequada disposta entre ambos no interior da linha. São os **cabos coaxiais**.

O condutor externo (cilíndrico) é revestido por uma camisa de plástico isolante.



## CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS COAXIAIS:

- *Elevado rendimento* - Comparadas com as linhas bifilares de dielétrico de polietileno.
- *Podem trabalhar enterradas* - Ou presas com grampos em paredes, marcos, suportes, etc., sem necessidade de isolação.
- *Uso em potências máximas de RF* - Entre 430 W a 2 kW.
- *Disponibilidade de conectores especiais.*
- *Ótimas para evitar interferências em TV* - Devido ao condutor externo servir de blindagem.

### CONCLUSÃO:

Uma **linha bifilar simétrica** é *aperiódica* e *balanceada*, devendo ser ligada, preferencialmente, a uma *antena balanceada* (tipo *dipolo*) construindo-se, assim, um **sistema de antena balanceado**.

A conexão de **antenas balanceadas** com **linhas não balanceadas** ou **vice-versa** é uma prática de *má engenharia* e freqüentemente conduz a uma **pobre eficiência** do *sistema irradiante*, **perda de energia** sob a forma de irradiação pela linha de transmissão e problemas de **interferência na televisão** ou TVI.

## 40. FUNCIONAMENTO DE UMA ANTENA

Uma **antena** é simplesmente um *transdutor* de classe especial.

A finalidade da **antena transmissora** é de converter a **potência** que lhe é entregue pela **linha transmissora** em uma *onda* chamada **onda eletromagnética**.

A **onda eletromagnética** tem a propriedade particular de **ser irradiada** através do espaço sem auxílio de condutores. Todas as antenas baseiam-se no mesmo princípio - a **corrente** da antena cria um **campo eletromagnético** que abandona a antena e é irradiado sob a forma de *onda eletromagnética*.

Toda a **antena** possui:

**reatância indutiva** →  $X_L$ ,

**reatância capacitiva** →  $X_C$  e **resistência**  $R$ .

Quando  $X_L$  e  $X_C$  são **iguais** e **opostas** há **ressonância** e, nestas condições, o **campo de RF** que rodeia o condutor é **máximo**.

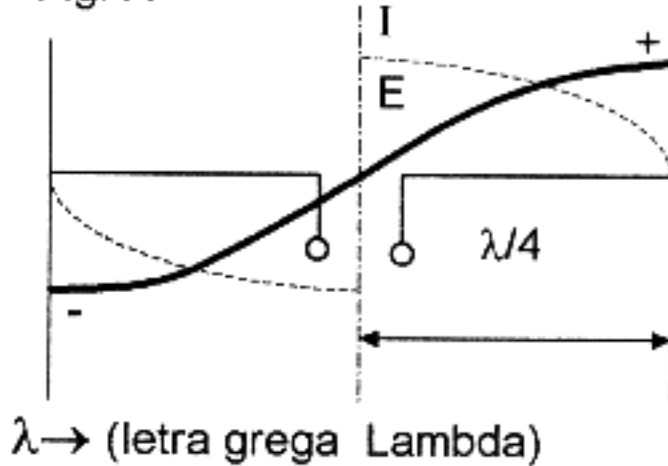
Todas as antenas baseiam-se no mesmo princípio:

"A *corrente* da antena cria um *campo eletromagnético* que abandona a antena e é irradiado sob forma de *onda eletromagnética*".

Os tipos básicos de antenas mais usados são:

- **HERTZ**
- e
- **MARCONI**

Fig. A



A figura ao lado mostra uma antena **Hertz** também chamada de **dipolo meia onda** ou **doublet**.

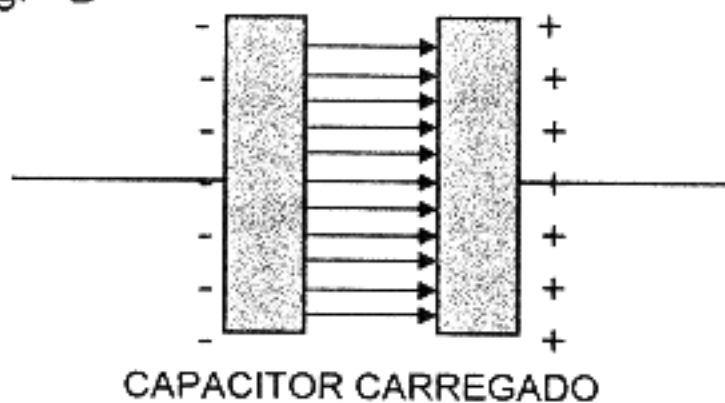
Embora as **tensões** em dois pontos quaisquer dos fios da antena equidistantes dos extremos tenham a **mesma amplitude**, são de *polaridade oposta*, do mesmo modo que os extremos do enrolamento de um transformador têm tensões de igual amplitude, mas de polaridade contrária.

O mesmo é válido para a **corrente**.

Observe (na figura) que as **ondas estacionárias** de **tensão** e de **corrente** indicam que os *extremos* da antena são pontos de **máxima tensão** e de **mínima corrente**; enquanto que, no *centro da mesma*, a **corrente é máxima** e a **tensão é mínima**.

Sempre que existe uma diferença de tensão entre dois pontos, cria-se um campo elétrico entre os mesmos.

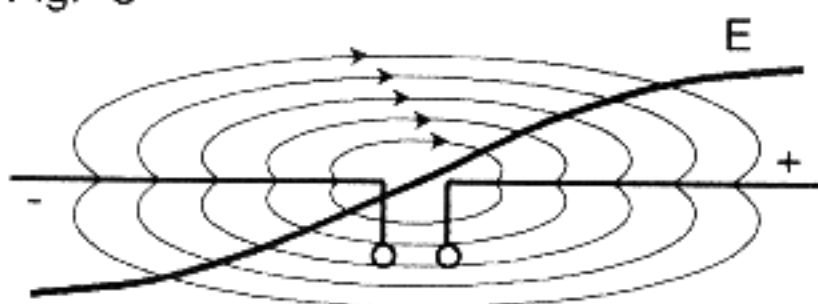
Fig. B



Já vimos que quando se *carrega* um *capacitor*, uma placa será *positiva* e a outra *negativa*.

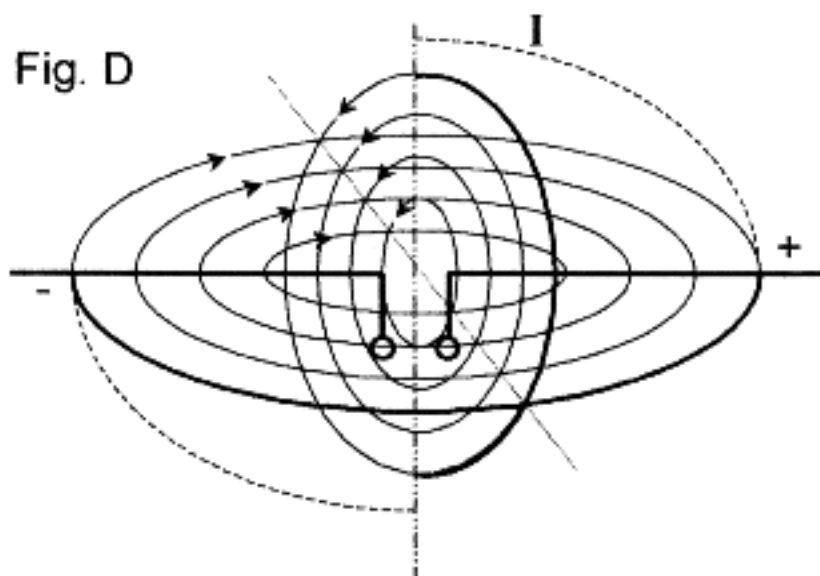
Em conseqüência, surge um **campo elétrico** entre duas placas do capacitor, dirigindo-se para a placa carregada *positivamente*, conforme mostra a figura.

Fig. C



CAMPO ELÉTRICO EM TORNO DE UMA ANTENA

Analogamente, a **diferença de tensão** entre os dois condutores de uma antena também cria um **campo elétrico**, cuja forma e sentido estão ilustrados na Fig. C.



Além do **campo elétrico**, também existe um **campo magnético** criado pela **corrente** da antena.

O plano deste **campo magnético** está em *ângulo reto* com o sentido de circulação da **corrente** formando, assim, *ângulo reto* com a antena, conforme mostra a fig. D.

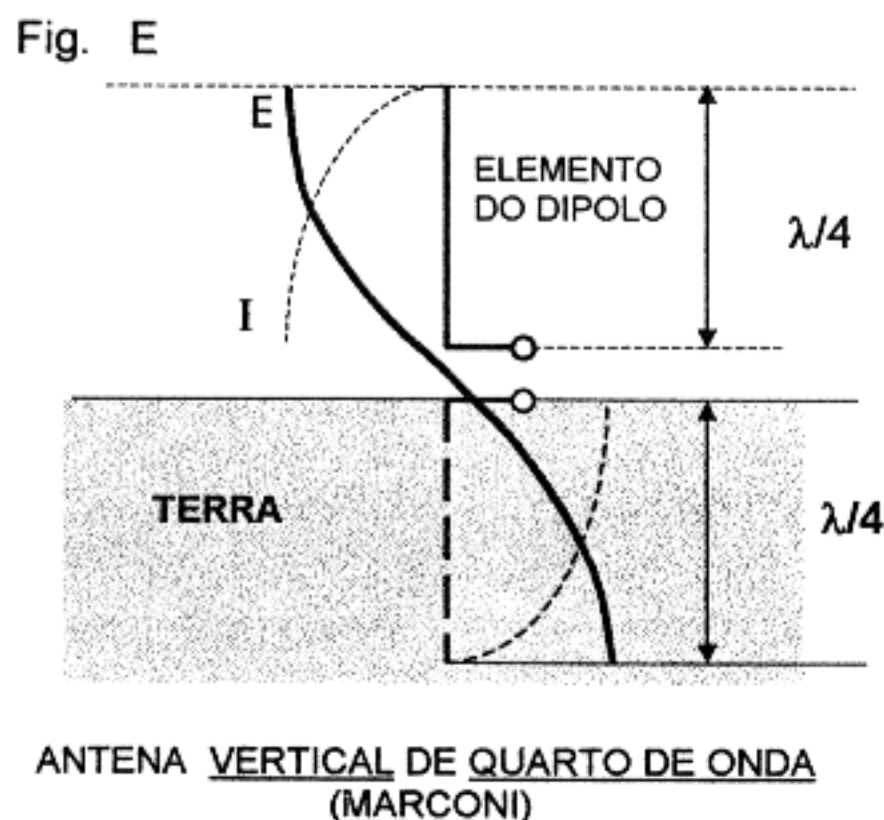
Portanto, os **campos elétrico** e **magnético** deverão estar em *ângulo reto* com respeito um ao outro.

- Lembre-se:

- a *tensão* cria um *campo elétrico*
- a *corrente* cria um *campo magnético*
- e. . . ambos formam um *ângulo reto* (um com o outro).

Estes campos elétrico e magnético se alternam em redor da antena; *crescendo*, até alcançar um **máximo**, **anulando-se** e novamente tornando a *crescer* em **sentido contrário** à mesma **freqüência** da *corrente de antena*.

No processo de **aumentar** e **diminuir**, parte destes campos *abandona* a antena, constituindo as **ondas eletromagnéticas** que são **irradiadas** através do **espaço**, levando mensagens aos receptores distantes.



O outro tipo básico de antena é a **antena vertical de quarto de onda** com *extremo à terra*, também chamada **antena Marconi**.

Note que ela é formada por uma parte idêntica a um dos elementos (metade) da antena *Hertz*, trabalhando na **vertical**. O outro elemento é substituído por uma *ligação à terra* como mostra a fig. "E".

A **Terra** substitui, agora, um dos elementos de **quarto de onda**, de modo que **terra** e o *elemento de quarto de onda* ( $\lambda/4$ ) aéreo formam um **dipolo de meia onda** ( $\lambda/2$ ). Os pontos de **corrente máxima** e de **tensão mínima** também estão na base da antena, como mostra a fig. "E".

Quando se usa a antena **Marconi**, o terreno diretamente abaixo da mesma deve ser, *eletricamente*, **bom condutor**. Algumas vezes, enterram-se tubos de cobre no terreno sob a antena, para *melhorar a condutividade*.

Todas as antenas possuem certas propriedades gerais que são aplicadas tanto à modalidade de transmissão como à de recepção, assim, pois a antena mais

eficiente para *transmissão* é também a mais eficiente para *recepção*. As propriedades **diretivas** são as mesmas para *transmissão* e *recepção*.

No caso de **antenas diretivas** o *ganho* também será o mesmo para sinais *transmitidos* ou *recebidos*.

A **intensidade** da onda de rádio irradiada por uma antena depende das **dimensões** da antena e da intensidade de *corrente* que flui nela. É racional esperar-se que a *maior* intensidade de **corrente** que se possa obter da **potência** disponível, produzirá a melhor *irradiação* de uma dada antena.

A **maior intensidade de corrente** é obtida quando se elimina a **reatância** da antena, isto é, as **reatâncias capacitiva e indutiva**, de efeitos contrários, se anulam deixando de existir **reatância** de antena. Nestas condições, a antena *ressona* na frequência de trabalho.

O condutor mais curto capaz de *ressonar* numa dada frequência, tem um comprimento igual à **metade** do comprimento da onda de rádio.

Se adota a antena de **meio comprimento de onda** como básica em toda a teoria de antenas.

Há dois métodos práticos para fazer com que uma antena seja *auto-ressonante*:

**PRIMEIRO:** Variar a **frequência** para que a onda de rádio se adapte ao **comprimento** do condutor.

**SEGUNDO:** Variar o **comprimento** elétrico do condutor para que o mesmo se adapte à **frequência**.

O **comprimento elétrico** de uma *meia onda* de energia eletromagnética está relacionado com a *velocidade de deslocamento* da onda (a mesma velocidade da luz) e também com a *frequência* correspondente a esta onda, pela equação:

$$\text{MEIO COMPRIMENTO DE ONDA:} \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{150.000.000}{\text{Frequência em Hz}}$$

$$\text{ou} \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{150}{\text{Frequência em MHz}}$$

que é análoga às equações correspondentes a outras ondas (ondas oceânicas, vibrações de uma corda de piano etc...).

O **comprimento físico** ou *geométrico* de um elemento de **antena** varia ligeiramente com respeito ao seu comprimento *elétrico* fundamental cuja relação será definida mais adiante.

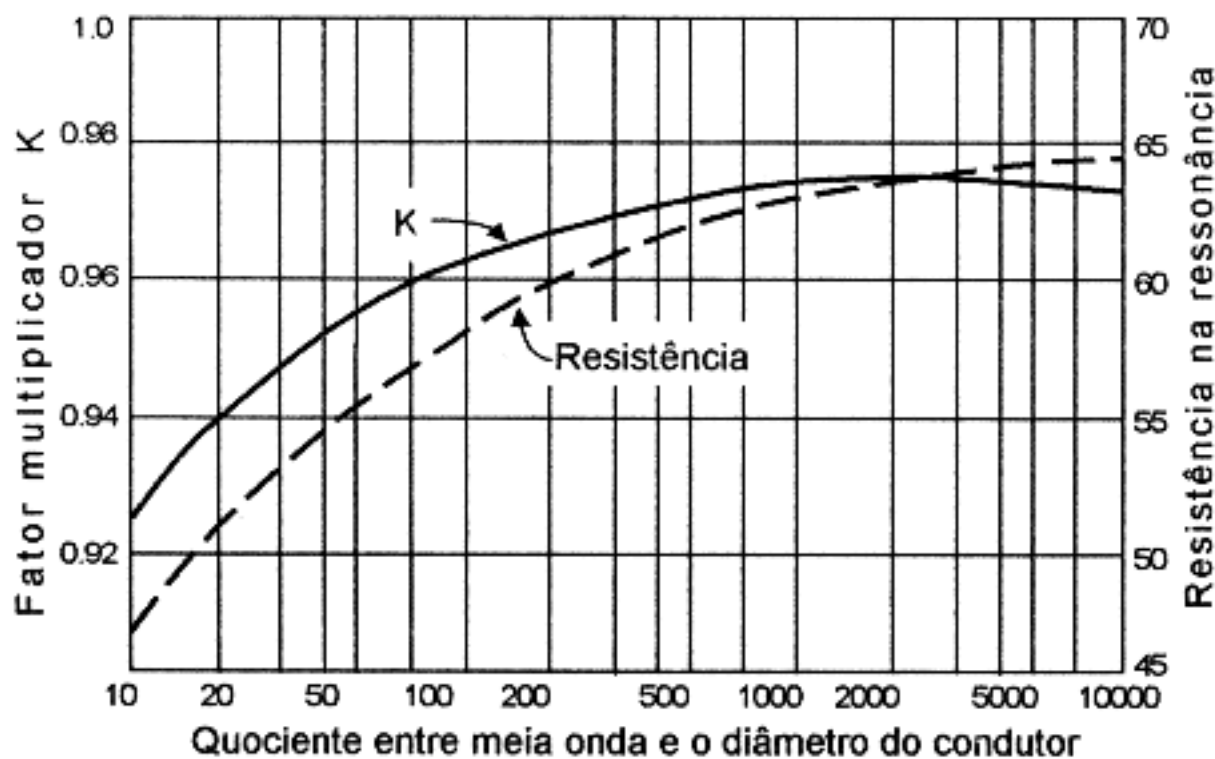
## **41. DIMENSIONAMENTO DE UMA ANTENA DIPOLO DE FIO**

O cálculo de uma **antena dipolo de fio** para uma determinada **frequência**, conhecendo-se o **fator de velocidade** para o fio, é feito pela fórmula:

$$\ell = \frac{150 \times k}{f \text{ (MHz)}} \quad \textcircled{F}$$



GRÁFICO G



onde :

$\ell$  = comprimento (final) do fio em metros

k = fator velocidade extraído do gráfico "G" ao lado.

Este gráfico mostra o efeito do **diâmetro do fio** da antena sobre o seu **comprimento** (inicial) para **ressonância meia onda**.

"k" é um fator de multiplicação aplicável para um fio de **meio comprimento de onda** atuando no espaço livre.

No mesmo gráfico tem-se o efeito do **diâmetro** do condutor sobre a **impedância** medida **no centro** da antena.

Portanto, o **comprimento real** de uma antena de **meia onda** não é exatamente igual à **meia onda no espaço** e depende do **diâmetro** do fio em relação ao **comprimento de onda**.

Multiplicando-se o fator "k" pelo **comprimento da meia onda** no espaço, obteremos o **comprimento real** no qual a antena vai **ressonar**.

Em antenas (fio esticado) entre **isoladores**, produz-se um efeito de encurtamento **efeito de ponta entre os extremos** devido aos isoladores que introduzem uma capacitância em série com o fio da antena.

Exemplo de aplicações da fórmula "F":

- Calcular o comprimento (ressonante) de uma antena de meia onda para 7,1MHz construída com fio de  $\varnothing = 3$  mm ( $\varnothing$  = diâmetro).

$$\ell = \frac{150 \times k}{7,1} = 21,12 \text{ m} \cdot k$$

$$21,12 \text{ m} \times 100 = 2.112 \text{ cm}$$

$$\varnothing = 3 \text{ mm} = 0,3 \text{ cm}$$

$$\frac{2.112 \text{ cm}}{0,3 \text{ cm}} = 7.042$$

entrando-se com o valor de 7.042 no gráfico "G", teremos  $k \cong 0,98$

$$\ell = 21,12 \text{ m} \times 0,98 = 20,7 \text{ m}$$

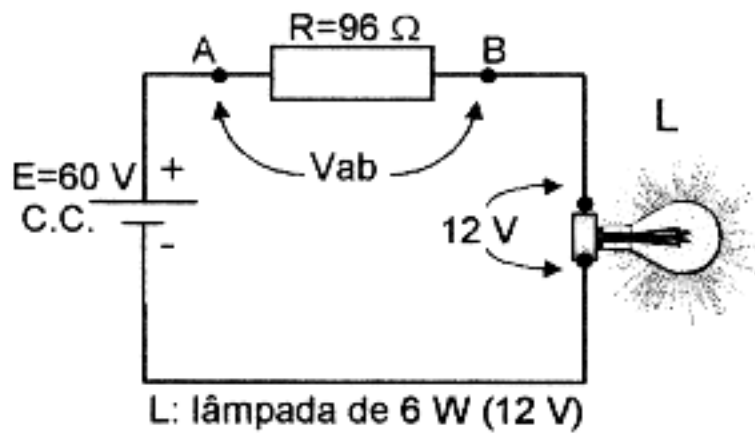
$$\ell = 20,7 \text{ m}$$

Observações:

- 1) A fórmula "F" é mais usada para calcular antenas dipolo de *meia onda* construídas com condutores de tubos metálicos (sem isoladores nos extremos).
- 2) Uma antena é **ressonante** a uma determinada **freqüência**, quando possui características elétricas de **indutância** e de **capacitância** tais que lhe possibilita **irradiar** para o espaço um **máximo** da energia que lhe é entregue pelo transmissor.



## 42. NOÇÕES DE IMPEDÂNCIA



$$R = \frac{V_{ab}}{I}$$

logo:  $R = \frac{48 \text{ V}}{0,5 \text{ A}} = 96 \Omega$

A função do resistor "R" no circuito de C.C. representado ao lado é bem conhecida, isto é, produzir uma queda de tensão.

Por exemplo: Se quisermos ligar a lâmpada L (12 V) na fonte de C.C. de 60 V, teremos de colocar um resistor "R" em série cujo valor será de :

$$V_{ab} = 60 \text{ V} - 12 \text{ V} = 48 \text{ V}$$

$$I = \frac{6 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 0,5 \text{ A}$$

$$R = 96$$

Portanto, o resistor  $R$  produz uma **queda de tensão** de 48 V nos seus extremos, de modo que a lâmpada  $L$  seja alimentada com os seus 12 V nominais.

Se o circuito da figura anterior fosse alimentado com **corrente alternada**, o cálculo seria o mesmo.

Isto significa que a **resistência** do resistor produz o mesmo efeito tanto em **corrente contínua** como em **corrente alternada**.

Já os **Indutores** (bobinas) e os **capacitores** não produzem o mesmo efeito em C.C. e em C.A.

Fig. 1

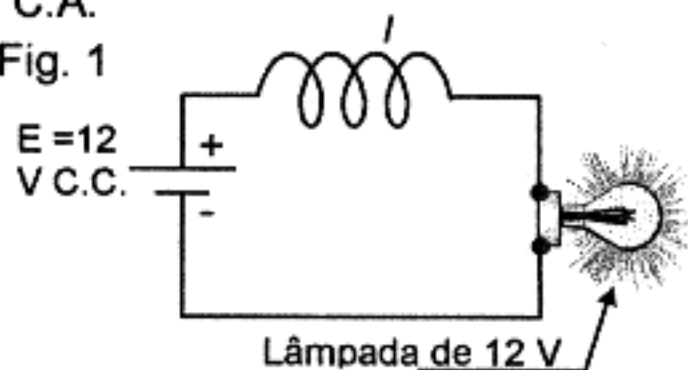
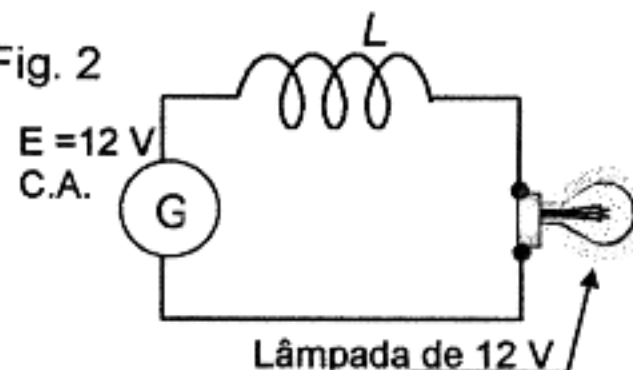


Fig. 2



Na figura "1" a lâmpada acende a **pleno brilho** pois a resistência ôhmica do fio do *indutor* "L" é muito pequena.

Na figura "2" usa-se o mesmo indutor  $L$  e a mesma lâmpada da fig. "1", mas o circuito "2" é alimentado com uma fonte de **corrente alternada** também de 12 V.

Note que na figura "2" a lâmpada acende com **menos brilho**.

Isto acontece porque o mesmo *indutor* "L" produz efeitos diferentes em **C.C.** e em **C.A.**

### EXPLICAÇÃO:

"No circuito da fig. "1" o **indutor** apresenta um efeito de **resistência ôhmica** muito pequena, como já dissemos".

"No circuito "2" o **indutor** apresenta um efeito resistivo muito alto (não apenas ôhmico) que chamamos de "**reatância indutiva**".

Portanto, justifica-se porque a **reatância indutiva** também é expressa em **ohms**.

OBS.: - O efeito de **reatância indutiva** só existe quando o circuito é percorrido por **corrente alternada**.

## REATÂNCIA INDUTIVA

- Símbolo:  $X_L$

- Fórmula:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

ohms                      3,1416                      frequência da C.A. em Hz ou c/s                      indutância (da bobina) em H (henrys)

A fórmula de  $X_L$  nos diz que

a) aumentando-se a **freqüência** *umenta* o valor da **reatância indutiva**

b) *umentando-se* a **indutância** também *umenta* o valor da **reatância indutiva**.

Exemplo de cálculo:

Calcular a *reatância indutiva* ( $X_L$ ) de uma bobina ( $L$ ) de 300 mH quando lhe é aplicada uma *corrente alternada* cuja freqüência ( $f$ ) é de 1kHz

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$300\text{mH} = 0,3 \text{ H}$$

$$1 \text{ kHz} = 1.000 \text{ Hz}$$

$$X_L = 2 \times 3,1416 \times 1.000 \times 0,3 = 1.885 \Omega$$

↑ VALOR MUITO SUPERIOR AO DA RESISTÊNCIA ÔHMICA DA BOBINA

Os *capacitores* também seguem um comportamento diferente em C.C. e em

C.A.

Fig. 3

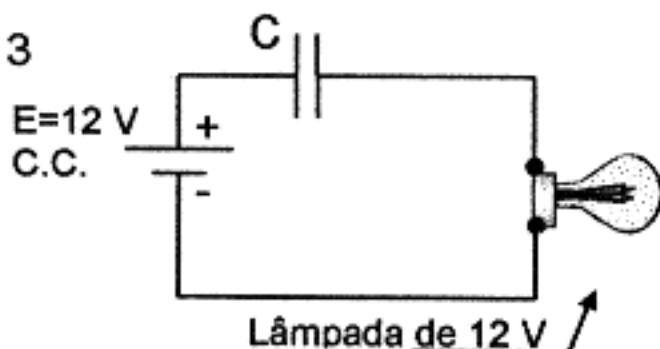
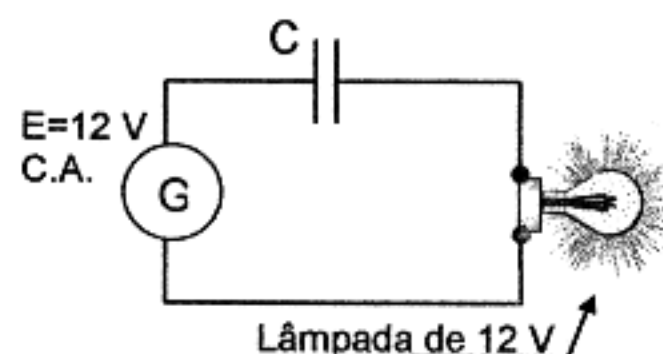


Fig. 4



No circuito "3", a lâmpada permanece **apagada** pois o dielétrico do capacitor "C" apresenta uma **resistência** ôhmica muito grande e não circula C.C..

No circuito "4" usa-se o mesmo *capacitor* "C" e a mesma lâmpada usada no circuito "3", mas o circuito "4" é alimentado com uma fonte de **corrente alternada**.

No circuito "4" a lâmpada *acende* com tanto **mais brilho**, quanto *maior* for a **capacitância** do capacitor.

Isto acontece porque o mesmo *capacitor* "C" produz efeitos diferentes em **C.C. e em C.A.**

### EXPLICAÇÃO:

- "No circuito "3" o *capacitor* apresenta um efeito de **alta resistância ôhmica** (a do seu dielétrico), à passagem da C.C., como já dissemos".

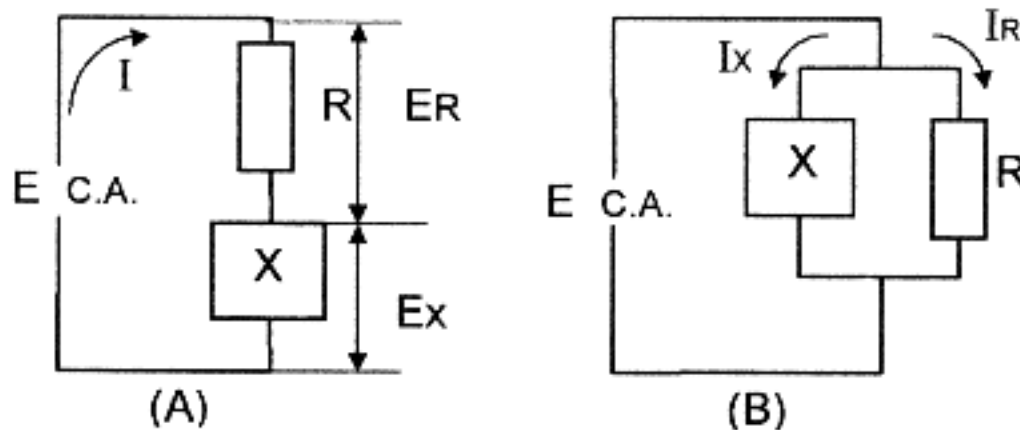
- "No *circuito* "4" o mesmo *capacitor* apresenta um efeito resistivo muito baixo (não apenas ôhmico) que chamamos de **reatância capacitiva**".

Neste caso, também justifica-se por que a **reatância capacitiva** é expressa em **ohms**.

**OBS.:** O efeito de **reatância capacitiva** só existe quando o circuito é percorrido por **corrente alternada**.



Na fórmula (1), acima, vemos que quando o valor de  $X_L$  for maior que o de  $X_C$ , a reatância  $X$  tem valor positivo; quando o valor de  $X_C$  for maior que o de  $X_L$ , a reatância  $X$  assume um valor negativo.



Circuitos com *reatância* e *resistência* ligados em **série** e em **paralelo**.

A **reatância** e a **resistência** que formam uma **impedância** podem estar indiferentemente associadas em série ou em paralelo como mostram as figuras (A) e (B).

Nestes circuitos, a **reatância** é representada por um retângulo, podendo ser *capacitiva* ou *indutiva*.

No circuito *série* (A) a *corrente* é a mesma nos dois elementos "R" e "X" enquanto que as tensões  $E_R$  e  $E_X$  são, em geral, diferentes.

No circuito em *paralelo* (B) a *tensão* é igual, tanto na *resistência* como na *reatância*, enquanto as respectivas *correntes* são, em geral, diferentes.

Na **resistência** a *corrente* está em fase com a tensão aplicada.

Havendo somente *reatância* no circuito, a *corrente* está  $90^\circ$  fora de fase em relação à *tensão*.

Num circuito que contém **resistência** e **reatância** a relação de fase entre *corrente* e *tensão* corresponde a um ângulo compreendido entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , conforme os valores da resistência e da reatância.

### 43. IMPEDÂNCIA DE CIRCUITOS EM SÉRIE

Quando a **resistência** e a **reatância** estão em série, a *impedância* ( $Z$ ) do circuito é:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{ou} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2)$$

por que  $X = X_L - X_C$

onde:  $Z \rightarrow$  Impedância em ohms  
 $R \rightarrow$  Resistência em ohms  
 $X = X_L - X_C \rightarrow$  Reatância equivalente em ohms  
 $X_L =$  Reatância indutiva em ohms  
 $X_C =$  Reatância capacitiva em ohms

A reatância pode ser, indiferentemente, capacitiva ou indutiva.

Se o circuito contém duas ou mais reatâncias em série, determina-se a sua resultante aplicando-se uma das fórmulas indicadas (2).

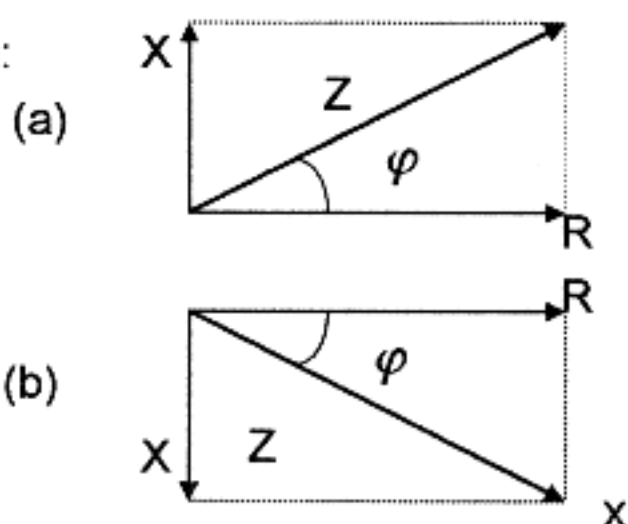
- EXPLICAÇÃO FÍSICO-MATEMÁTICA

- RESISTÊNCIA
  - REATÂNCIA INDUTIVA
  - REATÂNCIA CAPACITIVA
  - IMPEDÂNCIA
- } REATÂNCIA EQUIVALENTE

- Todas essas grandezas podem ser representadas por **vetores** =  $\longrightarrow$
- Isto  $\longrightarrow$  é um *vetor*
- Um *vetor* é um segmento de reta *orientado*. Representa-se por uma seta.

Para a determinação gráfica da **impedância** usam-se os vetores **resistência** e **reatância equivalente**, traçados em (escala) papel milimetrado.

Exemplos:



Note-se que  $X = X_L - X_C$ .  
Se  $X_C$  for maior do que  $X_L$ ,  $X$  será *negativo* e, neste caso,  $X$  é representado orientado de cima para baixo como na figura (b) ao lado.

$\varphi$  (letra grega Fi) é o **ângulo de fase**.

O quociente  $R/Z$  é o **fator de potência**.

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:

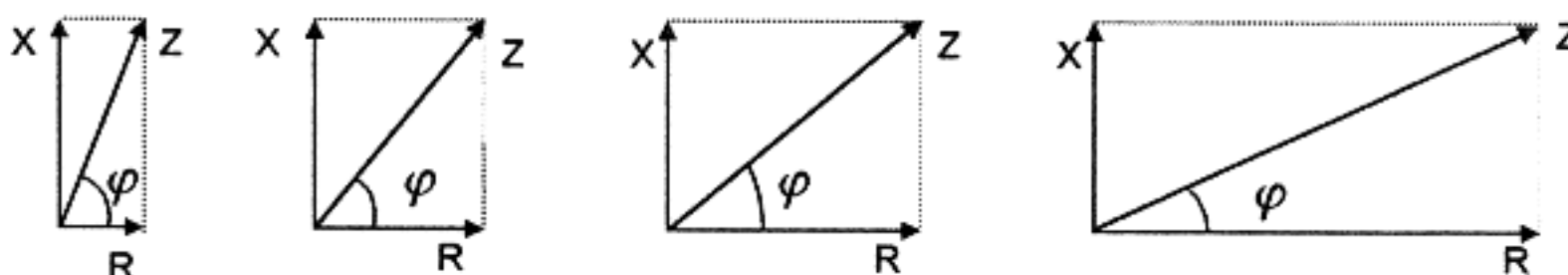
- 1) - Quando  $X_L$  for igual a  $X_C$ , teremos  $X = \text{zero}$ ; logo,  $Z = R$ , como indicam as fórmulas (2):

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad \text{ou} \quad Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Neste caso, segundo a **Lei de Ohm**,  $I = \frac{E}{Z}$ ;  $Z$  atinge um **valor mínimo**,

$I$  assume um **valor máximo** e acontece a **ressonância**.

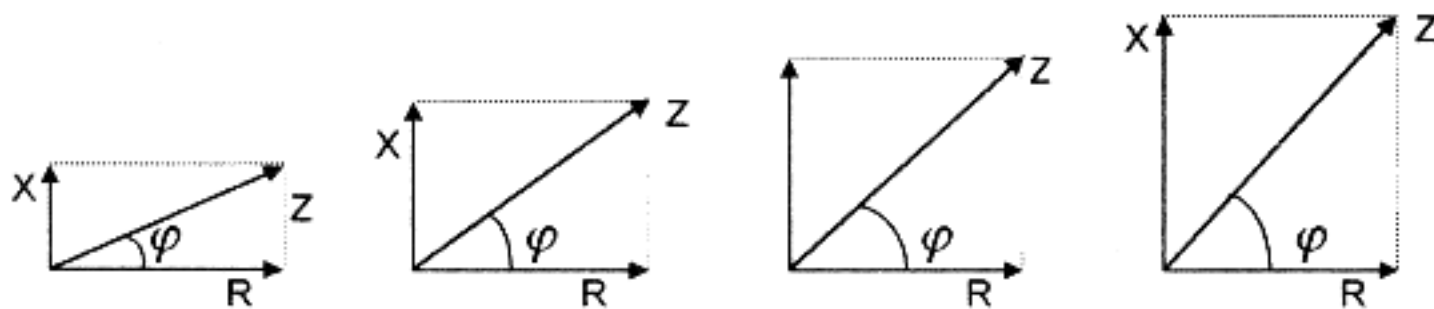
- 2) - Como varia a *impedância*, quando  $X$  permanece constante e  $R$  varia?



**“A IMPEDÂNCIA “Z” AUMENTA  
E O ÂNGULO DE FASE ( $\varphi$ ) DIMINUI  
À MEDIDA QUE “R” AUMENTA”.**

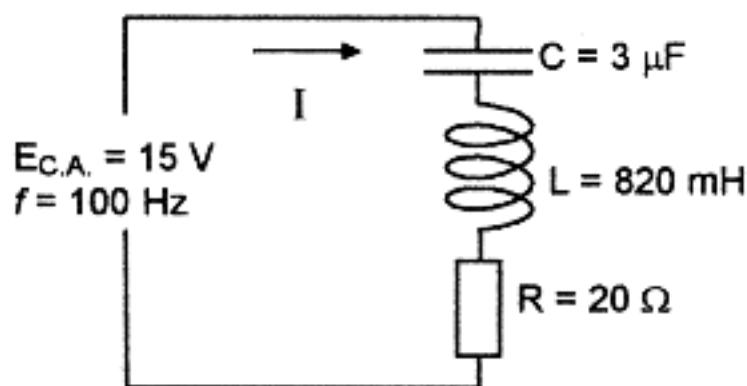
- 3) - Como varia a *impedância*, quando  $R$  permanece constante e  $X$  varia?





**“A IMPEDÂNCIA “Z” E O  
ÂNGULO DE FASE  $\varphi$  AUMENTAM  
À MEDIDA QUE “X” AUMENTA”.**

EXEMPLO NUMÉRICO: (Problema)



No circuito RLC em série ao lado, determinar:

- a) A reatância capacitiva  $X_C$
- b) A reatância indutiva  $X_L$
- c) A reatância equivalente  $X$
- d) A impedância  $Z$
- e) A corrente  $I$

Solução:

a)  $X_C = \frac{1}{2 \pi f C} = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times 100 \text{ Hz} \times 0,000003}$   $X_C = 530.5 \Omega$

b)  $X_L = 2 \pi f L = 2 \times 3,1416 \times 100 \text{ Hz} \times 0,82 \text{ H}$   $X_L = 515.5 \Omega$

c)  $X = X_L - X_C = 515.2 \Omega - 530,5 \Omega$

d)  $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{20^2 + (-15,3)^2}$

e)  $I = \frac{E_{C.A.}}{Z} = \frac{15 \text{ V}}{25,18 \Omega}$   $I = 0.59 \text{ A}$

Observação: Note o uso da Lei de Ohm aplicada à C.A. (usando a impedância  $Z$ ).

$I = \frac{F}{Z}; \quad Z = \frac{F}{I};$   $E = I \cdot Z$

## 44. IMPEDÂNCIA DE CIRCUITOS EM PARALELO

Quando a **reatância** e a **resistência** estão ligadas em paralelo, calcula-se a **impedância** pela fórmula:

$Z = \frac{R \cdot X}{\sqrt{R^2 + X^2}}$  onde os símbolos têm o mesmo significado da fórmula para circuitos em série.

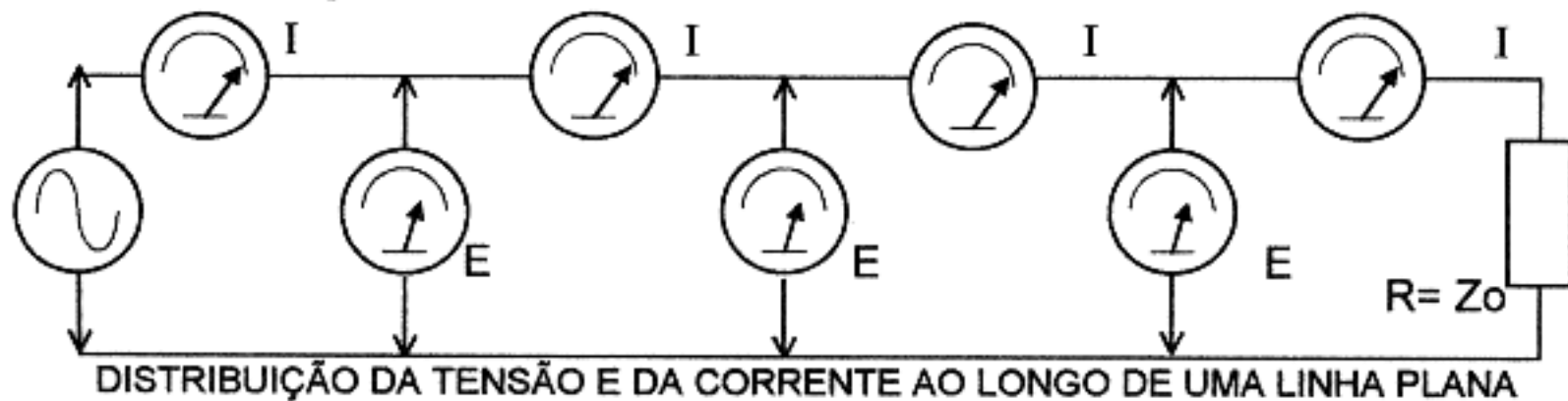
Também, neste caso, as *reatâncias* em paralelo  $X_L$  e  $X_C$  devem ser convertidas em uma *reatância equivalente*  $X$  antes de serem introduzidas na fórmula da impedância. Adotar o mesmo critério quando há vários resistores em paralelo..

## 45. RELAÇÃO DE ONDAS ESTACIONÁRIAS EM UMA LINHA DE TRANSMISSÃO - CONCEITO

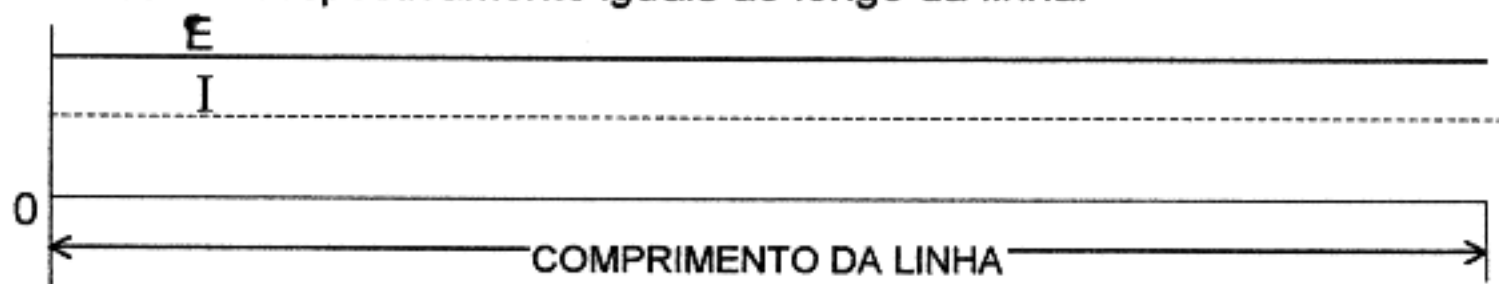
Quando uma *linha de transmissão* está equilibrada a uma *carga* ou quando a *impedância da carga* ( $Z_c$ ) é igual à *impedância da linha* ( $Z_0$ ), a *tensão de C.A.* medida ao longo da linha é sempre do mesmo valor, não se levando em conta a pequena queda de tensão devido à resistência ôhmica da linha.

A *corrente* medida em qualquer ponto da linha também é de um mesmo valor.

Esta condição está representada na ilustração a seguir, representada pela igualdade entre as leituras dos voltímetros e amperímetros de radiofrequência (R.F.) colocados ao longo da linha.



A distribuição real da *tensão* e da *corrente* ao longo da linha, pode ser, graficamente, representada mediante duas linhas retas, indicando que as *tensões* e *correntes* são respectivamente *iguais* ao longo da linha.



Uma linha nessas condições, chama-se plana ou não ressonante.

Uma *linha de transmissão* sempre será **não ressonante** quando termina em sua impedância característica, que é condição requerida para a máxima transferência de potência.

Se a linha não termina em sua impedância característica diz-se que está **desequilibrada** e nem toda a energia que a percorre é absorvida pela *carga* do extremo final.

A quantidade de energia absorvida depende da proximidade entre o valor da impedância da carga e o valor da impedância característica da linha.

Como a *carga* de uma linha desequilibrada não absorve toda a energia que a percorre, a parte não absorvida se reflete, retornando pela linha.

A energia que é refletida denomina-se **onda refletida**.

Uma linha desequilibrada, em conseqüência, é percorrida por duas ondas: a **onda incidente** e a **onda refletida**.

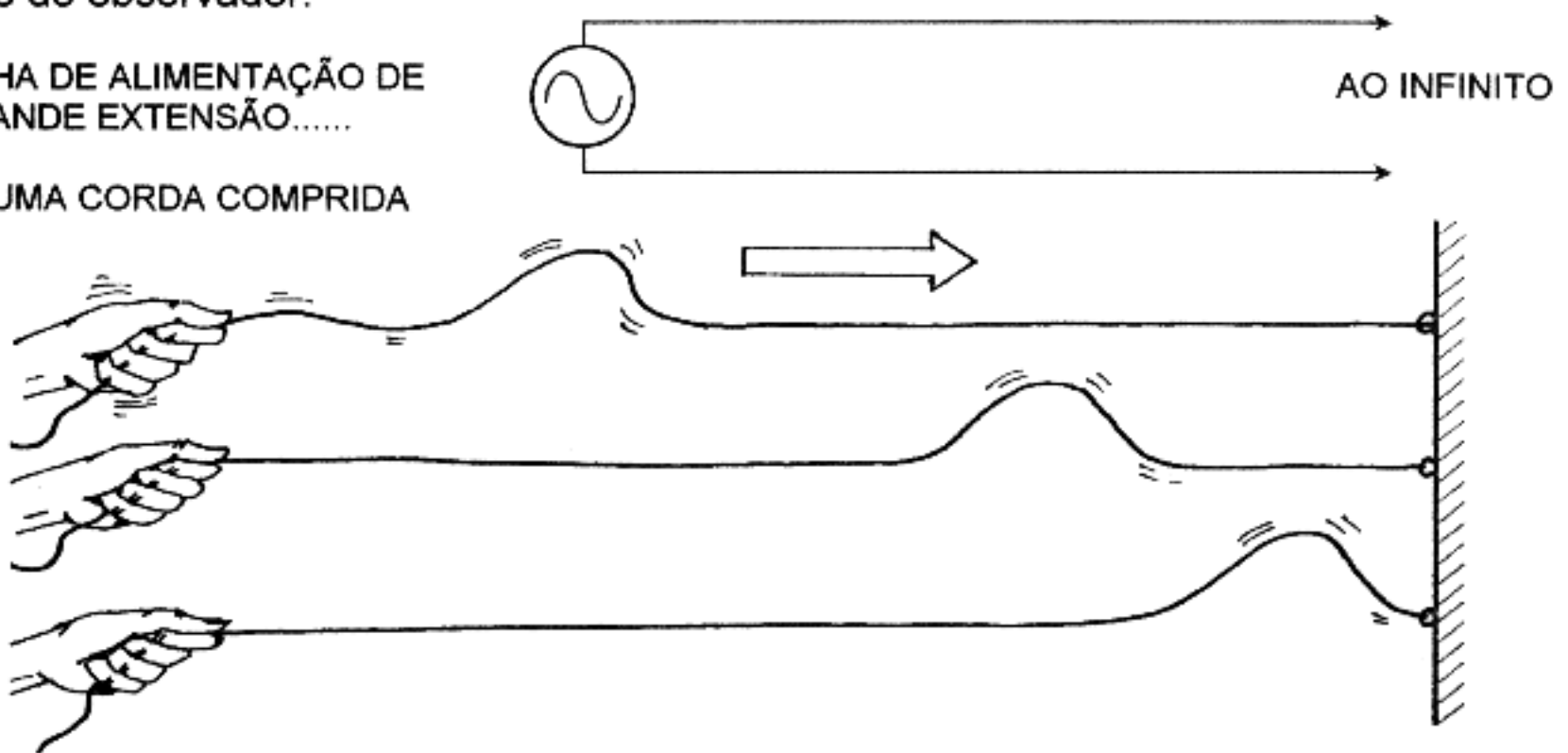
Estas *duas ondas* combinam-se ao longo da linha (agora denominada "*linha ressonante*") constituindo uma onda resultante chamada **onda estacionária**.

Para entender melhor como a energia percorre uma linha de transmissão e como a reflexão origina ondas estacionárias, suponha uma corda que tem uma de

suas extremidades presa a uma parede, enquanto o outro extremo está seguro pela mão do observador.

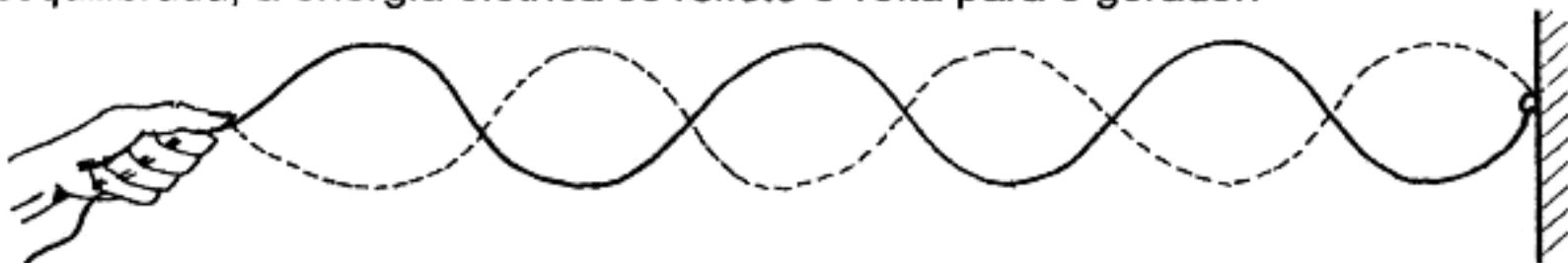
LINHA DE ALIMENTAÇÃO DE GRANDE EXTENSÃO.....

..E UMA CORDA COMPRIDA



Sacudindo-se a corda, inicia-se uma vibração que a percorre. Se a corda fosse de comprimento *infinito*, a vibração prosseguiria indefinidamente seu caminho. Esta, é a situação equivalente à de uma *linha de transmissão de comprimento infinito*, isto é, uma linha *não ressonante*, que absorve *completamente* a energia que lhe é aplicada.

Quando a vibração que percorre a corda atinge o extremo preso à parede, se *reflete* e retorna à mão. Do mesmo modo, quando uma linha de transmissão está *desequilibrada*, a energia elétrica se *reflete* e volta para o gerador.



Se, por meio da mão, se faz a corda vibrar uniformemente, as vibrações *refletidas* combinam-se com as vibrações *incidentes* produzindo **ondas estacionárias** ao longo da corda. Em alguns pontos da corda, há coincidência de fases entre as ondas *incidente* e *refletida*, reforçando-se mutuamente para dar lugar a uma vibração de *maior amplitude*. Noutros pontos, há uma defasagem e as vibrações *anulam-se* e a corda, nesses pontos, aparece *imóvel*.

Analogamente, nas *linhas de transmissão desequilibradas*, formam-se *ondas estacionárias de tensão* e de *corrente*.

A medição destas ondas proporciona informações úteis no que concerne à condição elétrica da linha.

Esta medição é expressa em termos de *coeficiente de reflexão* (*k*) e de **relação de ondas estacionárias**, *roe* ou *swr* em inglês.

A relação entre a *tensão ou corrente "máximas eficazes"* e a *tensão ou corrente "mínimas eficazes"*, ao longo de uma linha de transmissão, define a **Relação de Ondas Estacionárias** → **ROE**.

$$ROE = \frac{I_{MAX}}{I_{MIN}} = \frac{E_{MAX}}{E_{MIN}}$$

A ROE pode ter uma margem de valores compreendidos desde a *unidade* até o *infinito* e indica as propriedades da linha.

OBS. : - *não existe relação de ondas estacionárias zero como declinam alguns radioamadores.*

A Relação de Ondas Estacionárias de tensão (ROET) pode ser medida com um instrumento conhecido por *medidor de ROE* e é uma grandeza cômoda para os cálculos de performance da linha.

No caso geral de uma linha terminada em uma *carga resistiva* de qualquer valor, temos:

$$\text{ROE} = \frac{R}{Z_0} \quad \text{para } R \text{ maior que } Z_0$$

ou

$$\text{ROE} = \frac{Z_0}{R} \quad \text{para } R \text{ menor que } Z_0$$

onde  $R$  é a *carga terminal*  
e  $Z_0$  é a *impedância característica da linha*.

EXEMPLO: Seja uma linha com  $Z_0 = 50 \Omega$  ligada a uma *carga*  $R = 25 \Omega$

$$\text{ROE} = \frac{50 \Omega}{25 \Omega} = 2:1$$

## **46. CAMADAS DA IONOSFERA RESPONSÁVEIS PELA REFLEXÃO DOS SINAIS DE RÁDIO**

As ondas de rádio podem se propagar, desde uma antena transmissora até uma antena receptora, *na própria superfície da Terra*, em todas as direções, através da *atmosfera* ou por *reflexão* ou *dispersão*, desde refletores naturais ou artificiais. No extremo inferior do espectro de comunicações, a onda de terra pode se propagar a várias centenas de quilômetros. Em *freqüências altas*, as perdas de terra são tão grandes que a onda de terra propaga-se menos que uma centena de quilômetros.

A propagação na parte média e alta da banda de HF é, pois, por **reflexão ionosférica**.

O índice de *refração* na *atmosfera* é um fator importante na propagação de rádio, principalmente acima de 100 MHz. A dispersão das ondas de rádio, por heterogeneidade na atmosfera, é utilizada para obter uma comunicação satisfatória até uma distância equivalente a várias vezes maior que a do alcance em linha visual.

Em freqüências mais altas, a absorção atmosférica limita o alcance da propagação, mas o uso de antenas direcionais de alto ganho permite o uso prático de tais freqüências.

As principais camadas da *ionosfera* responsáveis pela *reflexão* dos sinais de rádio são:

**$F_2$ ,  $F_1$ ,  $E$  e  $D$**  as quais abordaremos mais adiante.



## PROPAGAÇÃO EM HF: 2 a 30 MHz

Em frequências compreendidas entre aproximadamente 2 e 30 MHz e a distâncias superiores a 161 km (100 milhas), a transmissão depende principalmente das ondas espaciais *refletidas* na **ionosfera**. Esta é uma região da atmosfera terrestre em que o ar rarefeito está suficientemente *ionizado* pela luz ultravioleta do Sol, para *refletir* ou *absorver* as ondas de rádio.

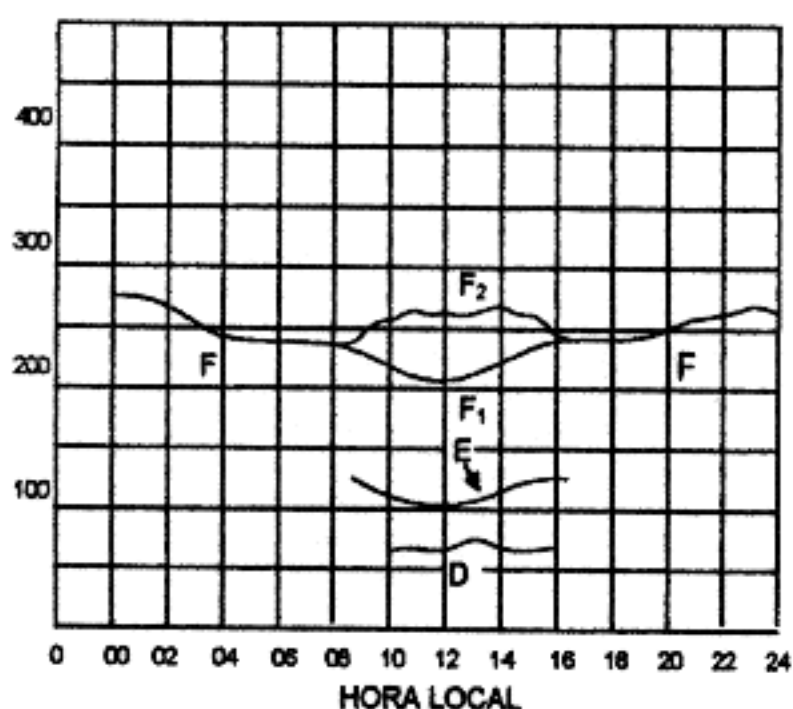
Considera-se a *ionosfera* a região compreendida entre 50 a 400 km (30 a 250 milhas) acima da superfície da Terra e está constituída por várias camadas.

### CAMADA $F_2$

- É a mais alta das duas regiões principais da *ionosfera*. Esta camada tem limites virtuais de altura de 200 a 400 km (130 a 250 milhas) e é a *principal região refletora* para comunicação em *alta frequência* a grande distância.

A altitude e a densidade de ionização variam durante o dia, nas diferentes estações do ano e com o ciclo de manchas solares. Durante a noite, a camada  $F_2$  integra-se com a camada  $F_1$  e a redução de absorção da camada  $E$  produz intensidades de campo e ruído durante a noite, geralmente mais elevados que durante as horas do dia.

A camada  $F_2$  surge aproximadamente quando nasce o Sol, e a frequência crítica aumenta bruscamente, alcançando *um máximo* algumas horas depois que o Sol atinge o zênite, ou seja, depois de alcançar a máxima elevação no horizonte, logo diminuindo exponencialmente desde este valor e alcançando o mínimo durante a noite.



ALTERAÇÕES REPRESENTATIVAS NA IONOSFERA DE HORA EM HORA

As regiões ionizadas são conhecidas por camadas (*capas*) mas não estão completamente separadas entre si.

Cada região se entremistura com a contígua formando uma zona contínua, mas não uniforme, no mínimo, nos quatro últimos níveis de densidade de crista, denominados camadas D, E,  $F_2$  e  $F_1$ .

No verão, as frequências críticas (referidas a  $F_2$ ) são mais baixas que no inverno, mas nos meses de inverno as frequências críticas durante a noite (referidas a  $F_2$ ) são mais altas que no verão.

Assim, pois, a diferença entre as frequências críticas diurnas e noturnas é muito menor no verão que no inverno.

NOTA: *Frequência crítica  $f_c$* , da camada ionosférica, é a frequência *mais elevada* que se reflete quando a onda se choca com a camada em incidência vertical.

As frequências mais altas que a crítica ( $f_c$ ) atravessam a camada.



## CAMADA F<sub>1</sub>

- Esta camada tem uma altitude virtual de, aproximadamente, 160 a 240 km (100 a 150 milhas) e só existe durante as horas diurnas. Esta camada é, ocasionalmente, a região refletora para transmissão em HF, mas, geralmente, as ondas que penetram na camada **E**, também penetram na camada **F<sub>1</sub>** e são refletidas pela camada **F<sub>2</sub>**. A camada **F<sub>1</sub>** produz uma absorção adicional destas ondas. *Durante a noite* não existe a camada **F<sub>1</sub>**, integrando-se com a camada **F<sub>2</sub>** para formar a única capa noturna **F**.

## CAMADA E

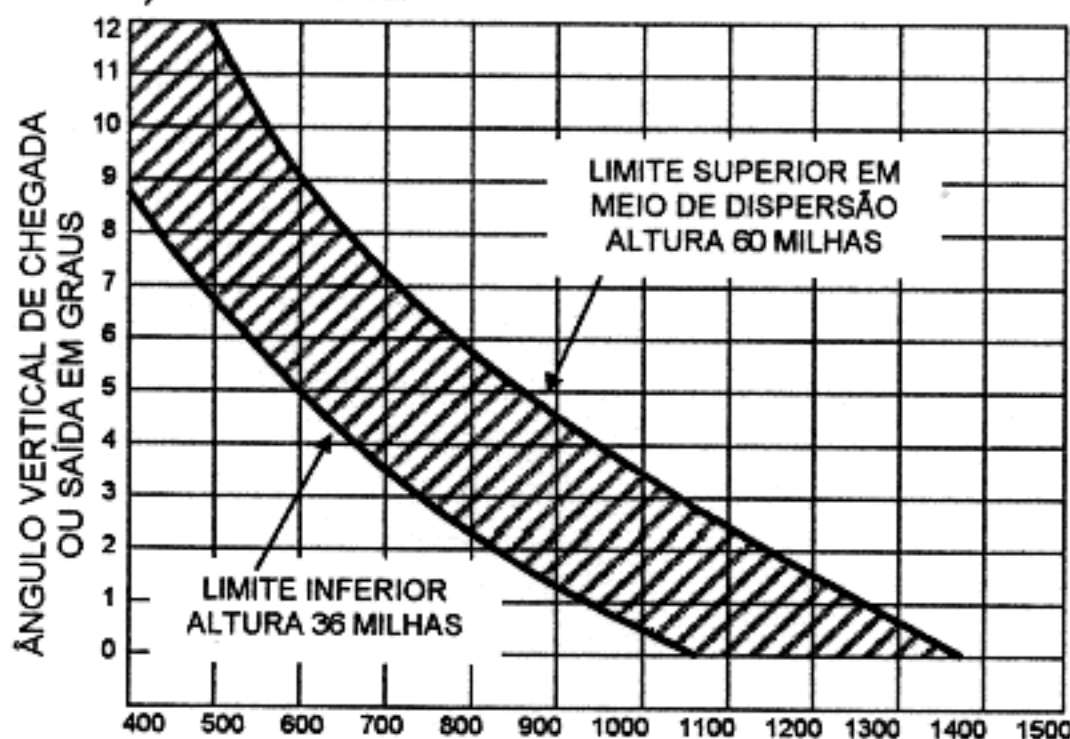
- Abaixo da camada **F**, a uma altura de, aproximadamente, 100 km (60 milhas), há uma camada absorvente, denominada camada **E**, que existe *durante as horas diurnas* e que alcança o máximo ao *meio-dia*.

Para fins práticos, a camada **E** desaparece durante a noite, embora, poucas vezes se possam observar vestígios dela. Esta camada é importante para a propagação diurna de HF a distâncias inferiores a 1.600 km (1.000 milhas) e também para a propagação noturna em frequências médias e, ocasionalmente, a distâncias que excedam 160 km (100 milhas),

Durante mais da metade do tempo de certos dias ou noites podem existir regiões do espaço em que se formem "*nuvens*" de *ionização* raramente elevadas, denominadas camadas e esporádicas.

Uma grande percentagem de *propagação esporádica E* é atribuída aos efeitos ocasionados pelos raios solares na atmosfera terrestre.

A altitude da camada e a densidade de elétrons da atmosfera determinam a distância de salto da propagação esporádica E para um dado ângulo de sinal (gráfico abaixo) e não são inusitadas distâncias de 650 a 1930 km (400 a 1200 milhas) em 50 MHz.



O alcance da dispersão da camada **E** pode ser tão grande como 2.253 km (1400 milha) em ângulo baixo e transmissão por um só salto. Uma antena alta (situada a uma altitude de milhares de pés, como no cume de uma montanha) combinada com um horizonte ao nível do mar, é ideal. A dispersão se produz a uma altura de camada de aproximadamente 57,9 a 96,5 km (36 a 60 milhas).

A propagação por *saltos múltiplos* só é possível até, aproximadamente, 4.000 km (2.500 milhas) e ocasionalmente. A propagação esporádica **E** foi observada na banda de 144 MHz, mas não é comum nas bandas de frequências mais baixas.

A propagação da camada **E** nas bandas de VHF é mais comum durante os meses de verão do que nos meses de inverno, com períodos inversos para o hemisfério sul.

### CAMADA D

- Abaixo da camada **E**, existe a camada **D** a altitudes de 50 a 80 km (30 a 50 milhas). Ela é absorvente e existe nas horas centrais do dia durante os meses mais quentes. Pouco se sabe atualmente sobre as características desta camada; sabe-se apenas que está tão debilmente ionizada que as técnicas de impulso não produzem ecos apreciáveis. Sabe-se também que a camada **D** permanece ionizada enquanto a atmosfera recebe radiação solar e desaparece rapidamente ao por do Sol. Acredita-se que esta camada causa uma elevada absorção dos sinais nas gamas de frequências altas e médias, durante as horas centrais do dia.

## **47. OSCILAÇÕES ELÉTRICAS LIVRES**

(Estudo que antecede ao de OSCILAÇÕES FORÇADAS)

Circuitos nos quais estão presentes *oscilações* de alta frequência, são as partes mais importantes dos radiotransmissores e receptores.

Para se ter um claro entendimento das operações de tais circuitos *oscilatórios* vamos, primeiramente, analisar a função de um pêndulo compreendido por um peso suspenso, executando *oscilações mecânicas*.

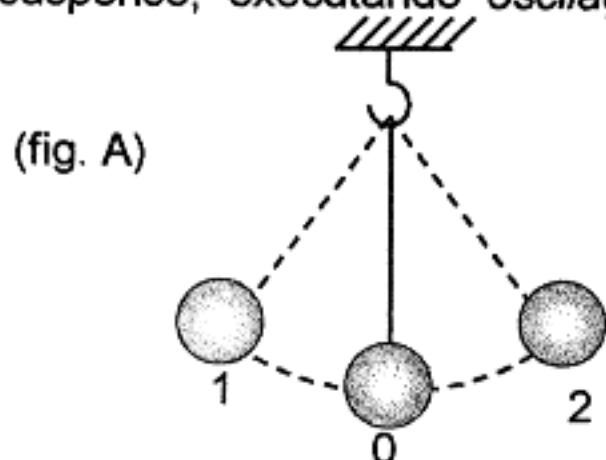


FIG. A - OSCILAÇÃO DE UM PÊNDULO

Se este pêndulo for puxado para um lado e logo solto, ele *oscila*, balançando da posição 1 para a posição 2 e voltando.

Tais *oscilações* são executadas *sem a aplicação* de qualquer *força externa*, contando somente com a *energia inicial* armazenada no pêndulo quando ele foi puxado para o lado. Estas oscilações são conhecidas como *oscilações livres*.

O movimento do pêndulo desde a posição 1 para a posição 2 e mais o *retorno*, representa uma *oscilação completa* ou, simplesmente, *uma oscilação*. Após a primeira oscilação vem a segunda, a terceira, etc.

A *máxima* deflexão do pêndulo desde a posição 0, isto é, a distância 0 - 1 ou 0 - 2 é chamada de *amplitude de oscilação*.

O *tempo* empregado para o pêndulo completar uma *oscilação* é conhecido como *período* e designado pela letra T.

O *número* de oscilações por segundo é a frequência (*f*).

O *período* é medido em *segundos* e a *frequência* em *ciclos* (c.p.s. → ciclos por segundo) ou *Hertz* (Hz), *quilociclos* por segundo (kc/s) ou *quilohertz* (kHz) e *megaciclos* por segundo (Mc/s) ou *megahertz* (MHz), sendo a unidade básica o *Hertz* (Hz).

As oscilações livres de um pêndulo possuem as seguintes *propriedades*, facilmente comprovadas pela experiência:

- 1) Elas são oscilações **amortecidas**, isto é, sua *amplitude* decresce constantemente (sofre um processo de *amortecimento*) como resultado das perdas de energia ocorridas quando o pêndulo vence a *resistência do ar* e devido ao *atrito* no ponto de suspensão;
- 2) As **oscilações livres** têm um caráter *harmônico*, isto é, elas são *senoidais*, desprezando-se os efeitos do amortecimento;
- 3) A **freqüência** das *oscilações livres* do pêndulo, depende, sobretudo, do seu *comprimento* e é independente da *amplitude*.

Como o processo de amortecimento continua, a *amplitude* das oscilações *decrece*, mas o *período* e a *freqüência* permanecem *constantes*;

- 4) A **amplitude** das *oscilações livres* é determinada pela energia inicialmente armazenada e entregue ao *pêndulo* quando ele for puxado para o lado. Quanto maior a *distância* em que o pêndulo for afastado desde sua posição de equilíbrio, maior será a *amplitude* das oscilações.

Quando o pêndulo oscila, a *energia mecânica potencial* é convertida em *energia cinética* e vice-versa. Nas posições 1 ou 2, quando o pêndulo pára, ele possui a *maior energia potencial*, enquanto a *energia cinética*, neste instante, é igual a zero.

Quando o pêndulo balança indo das posições 1 ou 2 para  $\underline{0}$ , a *velocidade* do seu deslocamento *crece* e a *energia cinética* ( $\rightarrow$  energia de movimento) *aumenta*.

Quando o pêndulo passa pela posição  $\underline{0}$ , sua *velocidade* e sua *energia cinética* possuem um valor *máximo*, enquanto sua *energia potencial* é igual a zero.

Logo que o ponto  $\underline{0}$  foi ultrapassado, a *velocidade* do pêndulo torna a *diminuir* e a *energia cinética* se converte em *energia potencial*.

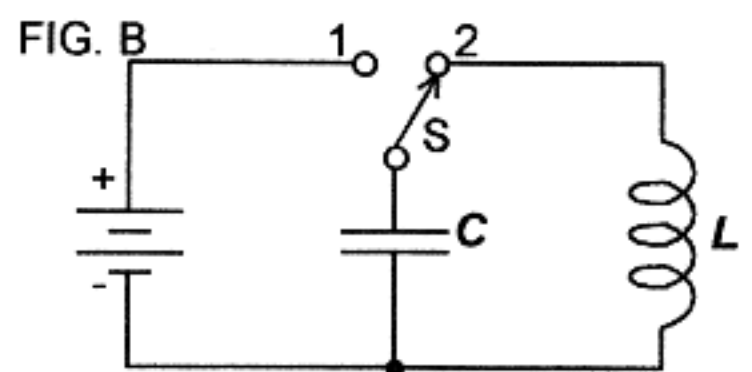
Se não houvesse *perdas de energia*, a conversão de *energia*, de um estado para outro, seria sempre *contínua* e as oscilações seriam *constantes* e não **amortecidas** ( $\rightarrow$  que vão diminuindo gradativamente até parar).

Mas as perdas de energia estão sempre presentes. Portanto, se desejarmos que o pêndulo *oscile continuamente*, deve ser dado *sistematicamente* a ele um *empurrão*, isto é, periodicamente dada uma **energia adicional** que compensará as perdas. Este é o princípio de funcionamento de um relógio simples.

Vamos, agora, iniciar o estudo das

## "OSCILAÇÕES ELÉTRICAS"

"Um *circuito oscilatório* é representado por um circuito *fechado* consistindo de uma *bobina* de indutância  $L$  e de um capacitor  $C$ ".



Circuito para gerar OSCILAÇÕES LIVRES

No diagrama de circuito dado na figura B (ao lado), entra em funcionamento um *circuito oscilatório* quando a posição de ligação da chave  $S$  passa da posição 1 para a posição 2.

Cada circuito oscilatório possui, naturalmente, alguma *resistência ôhmica*, cujo efeito nós, agora, desprezaremos.



**A função de um circuito oscilatório é a de estabelecer ou gerar oscilações elétricas.**

Se um *capacitor carregado* for ligado a uma *bobina* ele se *descarregará* através da *bobina* e a *descarga* produzirá uma **oscilação natural**.

Para **CARREGAR** o capacitor **C**, a chave **S** é ligada na posição 1, no circuito da fig. B.

Se a chave **S** for acionada para o contato 2, o capacitor **C** iniciará a **DESCARGA** através da bobina **L**.

O processo oscilatório, neste circuito, pode ser convenientemente representado pelo gráfico de mudanças de tensão  $U$  e de corrente  $I$  mostrados na figura **C**.

Inicialmente, o capacitor é **carregado** com a *máxima* diferença de potencial  $U_m$  enquanto a corrente  $I$  está no seu valor zero.

Assim que o capacitor inicia a **descarga**, um **aumento** gradual de *corrente* começa a fluir.

O sentido do movimento de elétrons desta corrente é mostrado pelas setas da figura C.

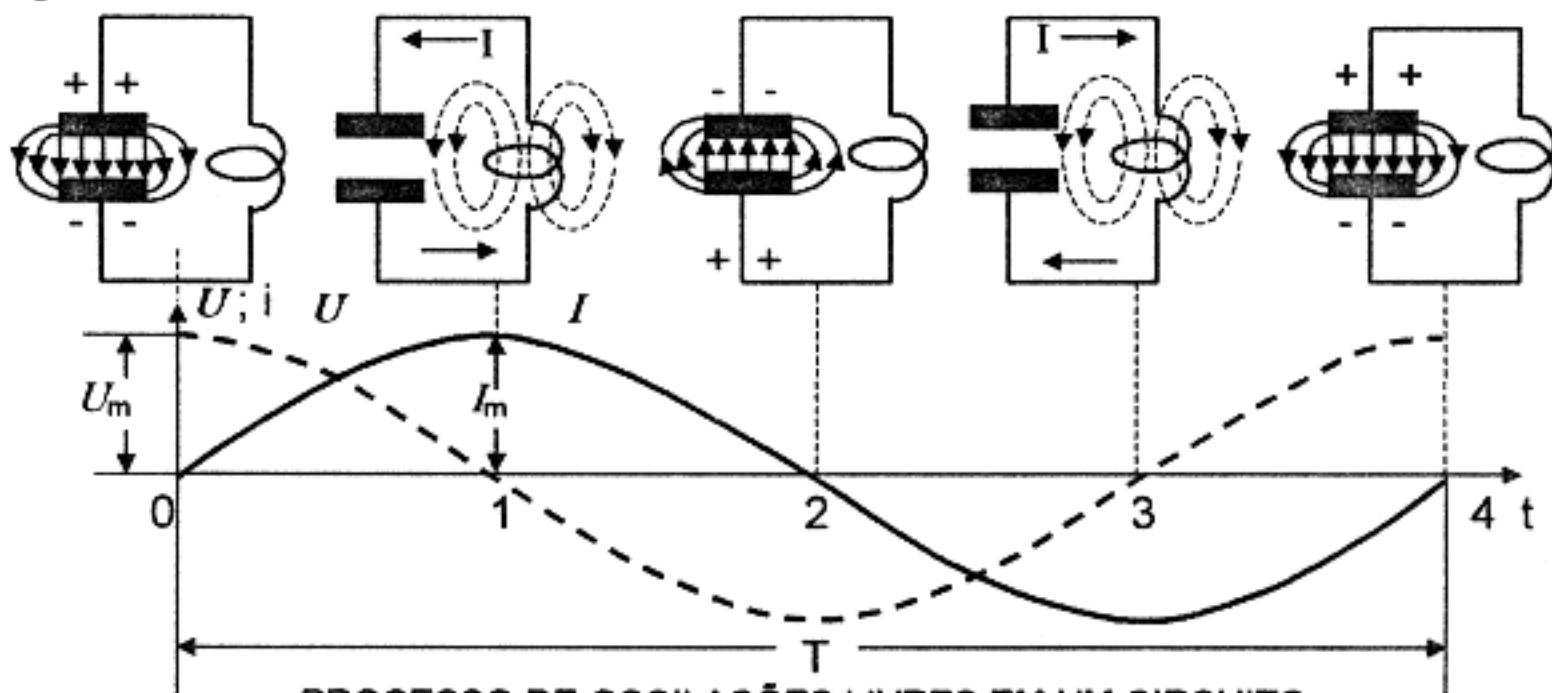


Fig. C

PROCESSO DE OSCILAÇÕES LIVRES EM UM CIRCUITO CAPACITIVO-INDUTIVO, FECHADO.

A F.E.M. estabelecida pela *auto-indutância* da bobina (F.C.E.M. → força contra-eletromotriz) se *opõe* a qualquer variação rápida dessa corrente.

Com o *aumento* gradual da *corrente*, a *tensão* através do capacitor vai *decrecendo* e, num determinado instante (instante 1 da figura C), o capacitor será *totalmente descarregado*. Neste instante, a corrente será *máxima*, enquanto a tensão através das placas do capacitor será *zero*.

Tal situação - a presença de *corrente* na ausência da *tensão* - é facilmente explicada a seguir:

A presença de *indutância*, no circuito, impede à corrente de mudanças instantâneas súbitas.

A corrente é obrigada a *diminuir* lenta e gradualmente por causa da F.C.E.M. estabelecida na bobina, devido à mudança do fluxo de corrente através dela.

**Neste caso, a bobina age como um gerador e carrega o capacitor.**

Durante este procedimento, a *polaridade* das cargas através das placas do capacitor é *alterada*.

Este é o porquê *do aumento* da tensão no capacitor e está representado na figura C, pela inclinação , para baixo, da linha dirigida para a região de valores negativos.

Quando a carga do capacitor for *completada*, a corrente será zero e a tensão estará no valor *máximo*, posto que a *polaridade* desta tensão será *oposta* àquela mostrada no momento inicial (ponto 2 da figura C).

Portanto, após a conclusão do processo descrito acima, a *polaridade* do capacitor carregado terá sido *invertida*.

Como o processo continua, o capacitor será novamente descarregado através da *bobina*, mas em **direção oposta**. Como consequência disso, ele, agora, será carregado e a sua *polaridade* será *invertida*, após um exato e semelhante espaço de tempo. Então, o estado inicial do *circuito oscilatório* será restabelecido no instante 4 da figura C.

Os elétrons terão completado, no circuito, *uma oscilação completa*, cujo período é indicado pela letra *T* da figura C. Esta oscilação é, então, seguida por uma segunda, etc.

"Estas oscilações, estabelecidas no circuito descrito, são **oscilações elétricas livres**".

São oscilações realmente **livres** porque o processo oscilatório continua *espontaneamente* e devido à carga inicial do capacitor, *não necessita* aplicação de qualquer F.E.M. externa.

Estas oscilações são de natureza **harmônica**, isto é, elas representam *corrente alternada senoidal*.

Durante o processo oscilatório, os *elétrons* realmente não se deslocam de *uma placa* do capacitor para *outra* através do *dielétrico* e, *sim*, *oscilam no seu circuito exterior*. Um capacitor carregado possui uma carga de **energia elétrica potencial**, que está concentrada no *campo elétrico* entre as placas do capacitor. O *movimento de elétrons* ( $\rightarrow$  *corrente*) está sempre acompanhado da criação de um *campo magnético*. Por conseguinte, a **energia elétrica cinética** (dos elétrons em movimento) é, simplesmente, a **energia do campo magnético**.

*Oscilação elétrica, em um circuito, é uma transformação repetida da **energia potencial** de um campo elétrico em **energia cinética** de um campo magnético, e vice-versa.*

Em princípio, a *energia total* é concentrada no *campo elétrico* de um capacitor carregado.

Quando o capacitor começa a se *descarregar*, a *energia potencial* começa a *decrecer*, enquanto a *energia cinética* ou a *energia do campo magnético* da bobina, *aumenta*. Quando a corrente alcança seu *valor máximo* e o total da *energia do circuito* é concentrado no *campo magnético*, a *energia potencial* é igual a zero.

O processo continua, então, em ordem inversa; a *energia magnética* decresce, enquanto reaparece a *energia do campo elétrico*.

Meio período após a oscilação ter iniciado, *toda a energia* está concentrada, novamente, no capacitor que, novamente, comanda a transição de energia do *campo elétrico* para a do *campo magnético*, etc.



O valor máximo de corrente (ou da *energia magnética*) corresponde ao valor zero da tensão (ou o valor zero da *energia elétrica*) e vice-versa; isto é, a *diferença de fase* entre a *tensão* e a *corrente* é igual a um quarto de período, ou  $90^\circ$ .

Durante o primeiro e o terceiro quartos de período, o *capacitor* age como um **gerador**, enquanto a *bobina* é um **receptor** ( $\rightarrow$  consumidor) de energia. O inverso ocorre durante o segundo e o quarto quartos de período, quando a *bobina* funciona como **gerador** e alimenta o campo de retorno de energia para o *capacitor*, que, agora, age como **receptor** (consumidor) de energia.

Uma importante característica das **oscilações livres** em um circuito é a *igualdade* entre a *reatância indutiva* (da *bobina*) e a *reatância capacitiva* (do *capacitor*) em relação à corrente alternada das *oscilações livres*.

Isto torna-se claro pelo seguinte:

Os terminais do *capacitor* estão ligados aos terminais da *bobina*; por conseguinte, a *tensão* através deles é *igual*.

A mesma corrente  $I$  flui através do *capacitor* e da *bobina*, pois o circuito em estudo é um circuito *série*.

Daí, resulta a seguinte equação:

$$I \cdot X_L = I \cdot X_C \quad \text{(D) onde:}$$

$X_L$  = REATÂNCIA INDUTIVA da BOBINA

$X_C$  = REATÂNCIA CAPACITIVA do CAPACITOR.

Dividindo-se ambos os membros da equação por  $I$ , temos o seguinte:

$$X_L = X_C$$

que é a expressão da *reatância capacitiva* ou *indutiva* possuída pelos elementos do circuito na *freqüência* de oscilações naturais e referida como **impedância característica de um circuito**, designado pela letra grega  $\rho$  (rô).

$$\rho = X_L = X_C$$

O valor de  $\rho$  em circuitos oscilantes é, usualmente, igual a algumas centenas de ohms.

## AMPLITUDE E FREQUÊNCIA (DE OSCILAÇÕES LIVRES EM UM CIRCUITO)

As **amplitudes** da *tensão* e da *corrente* de *oscilações elétricas livres*, em um circuito, dependem quase somente da *energia inicial* armazenada.

Cada circuito oscilatório é caracterizado por uma **freqüência** bem definida de oscilações livres, que é chamada de **freqüência natural de um circuito oscilatório**, ou, simplesmente, **freqüência  $f_0$  de um circuito (oscilatório) sintonizado**.

A *freqüência  $f_0$*  depende, sobretudo, da *capacitância* e da *indutância* do circuito ( $C$  e  $L$ ). Quanto maior a capacitância e a indutância, maior será o período de oscilações e menor será a sua freqüência.

Se a *capacitância* for *aumentada*, o *tempo* necessário para o capacitor *carregar* e *descarregar* também *aumenta*, visto que para a tensão inicial, a *quantidade de eletricidade* (que determina a *carga*) será *maior*.

O aumento da *indutância* da bobina causará, por seu turno, um *crescimento mais lento* e um *decréscimo mais lento* da corrente durante a carga e descarga do capacitor, visto que uma *indutância maior* oferece *maior* oposição às mudanças da corrente. Portanto, o circuito oscilará *mais lentamente*, isto é, sua *freqüência* será *diminuída*.

*Decréscimos* de  $\underline{L}$  e de  $\underline{C}$  farão com que o circuito oscile *mais rápido* e a *freqüência* será, conseqüentemente, *aumentada*.

Para que a *freqüência* de um *circuito sintonizado* seja reduzida à *metade* do seu valor anterior, o produto  $L \times C$  deve ser *aumentado quatro vezes*. Isto pode ser obtido através de um aumento *quádruplo* ou da *indutância* ou da *capacitância* do circuito. Uma outra possibilidade é a de um aumento *duplo* da *capacitância* e de um aumento similar e simultâneo da *indutância*.

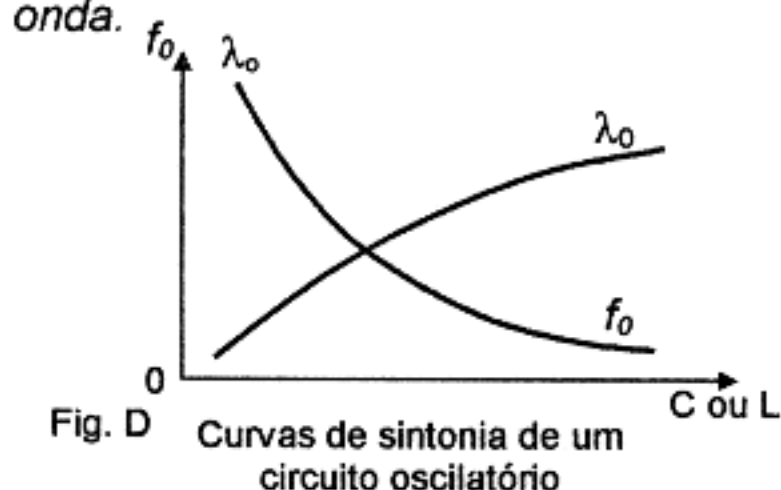
Mudando  $\underline{L}$  ou  $\underline{C}$ , ou seu produto, *nove vezes*, muda a *freqüência* 3 vezes, etc.

É possível obter a *mesma freqüência* com diferentes valores de *capacitância* e de *indutância*; mas o importante, neste caso, é que o produto  $L \times C$  permaneça inalterado.

O *comprimento de onda*  $\lambda$  ( $\rightarrow$ letra grega LÂMBDA) é *inversamente proporcional* à *freqüência*  $F$  como indica a fórmula:

$$\lambda = \frac{1}{F}$$

Portanto, qualquer **decréscimo** de *capacitância* ou de *indutância*, produz um **decréscimo** do *comprimento de onda* ( $\lambda_0$ ) de um circuito *sintonizado*, enquanto qualquer **aumento** de *capacitância* ou de *indutância*, **aumenta** o *comprimento de onda*.



A figura D, ao lado, ilustra as curvas representando a *freqüência natural* ( $f_0$ ) de um circuito **sintonizado** e o correspondente *comprimento de onda* ( $\lambda_0$ ) e a dependência desses parâmetros relacionada com a *capacitância* ou *indutância* contidas no circuito. Essas curvas são conhecidas como **curvas de sintonia**.

A fórmula de Thomson dá a *freqüência* ( $f_0$ ) do circuito sintonizado em função da *indutância* ( $L$ ) e da *capacitância* ( $C$ ) do circuito:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}} \quad \text{ou} \quad f_0 = \frac{1}{6,28\sqrt{L \times C}}$$

Nesta fórmula, a *freqüência*  $f_0$  é expressa em hertz ou ciclos por segundo;  $L \rightarrow$  em henrys e  $C \rightarrow$  em farads.

O cientista inglês Thomson foi o primeiro a dar a fórmula do **período** de *oscilações livres* em um *circuito sintonizado*:

$$T = 2 \pi \sqrt{L \times C} \quad \text{I)}$$

A moderna engenharia de rádio, todavia, prefere expressar as *oscilações* em função da *freqüência*, porque o *período* representa uma fração de segundo muito pequena e isto torna-se inconveniente nos cálculos.

**EX CURSO:** - A fórmula de Thomson é facilmente deduzida da igualdade entre as reatâncias *capacitiva* e *indutiva*.

Como nós já sabemos,  $X_L = X_C$  em todos os casos em que ocorrem *oscilações livres* em um *circuito sintonizado*,

isto é,

$$X_L = 2\pi f_0 L$$

e

$$X_C = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

e como  $X_L = X_C$ ,

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

donde,

$$\text{sai } (f_0)^2 = \frac{1}{4\pi^2 L \times C}$$

ou

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \times C}}$$

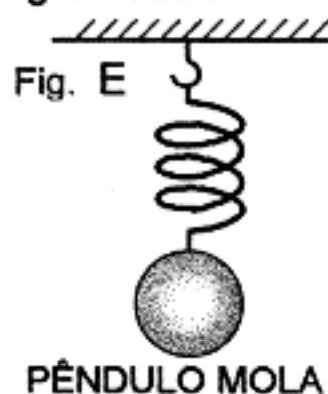
ou

$$T = 2\pi \sqrt{L \times C} \quad \text{como em I), acima, porque } T = \frac{1}{f_0}$$

Em qualquer circuito oscilatório (mecânico ou elétrico), a *freqüência* das *oscilações livres* depende de *dois parâmetros*.

Em circuitos *oscilatórios elétricos*, esses parâmetros **-indutância e capacitância** - são facilmente substituídos.

No caso de um pêndulo comum (veja fig. A - em *oscilações elétricas livres* - página 75 deste curso), um parâmetro: o comprimento do pêndulo - pode também ser mudado e pode ser mostrado que esse comprimento tem que ser *aumentado* de quatro vezes para causar um aumento duplo de *freqüência*; nove vezes para causar um aumento triplo da *freqüência*, etc. O outro parâmetro do pêndulo é a *aceleração da gravidade*. Este valor é expresso por  $g=9,81 \text{ m/s}^2$  e não pode ser mudado.



A melhor analogia mecânica de um circuito oscilatório é o *pêndulo mola* mostrado na figura E. A *freqüência* das *oscilações naturais* deste pêndulo depende sobretudo da *massa* do pêndulo suspenso e da *elasticidade da mola*. A *elasticidade* é inversamente proporcional à resiliência, que significa o grau ao qual a mola é exposta ao esticamento e compressão quando acionada por uma força.

O valor da *elasticidade* depende, principalmente, da *espessura* e da *natureza* do material da mola, bem como do *diâmetro* das espiras e do *número* destas.

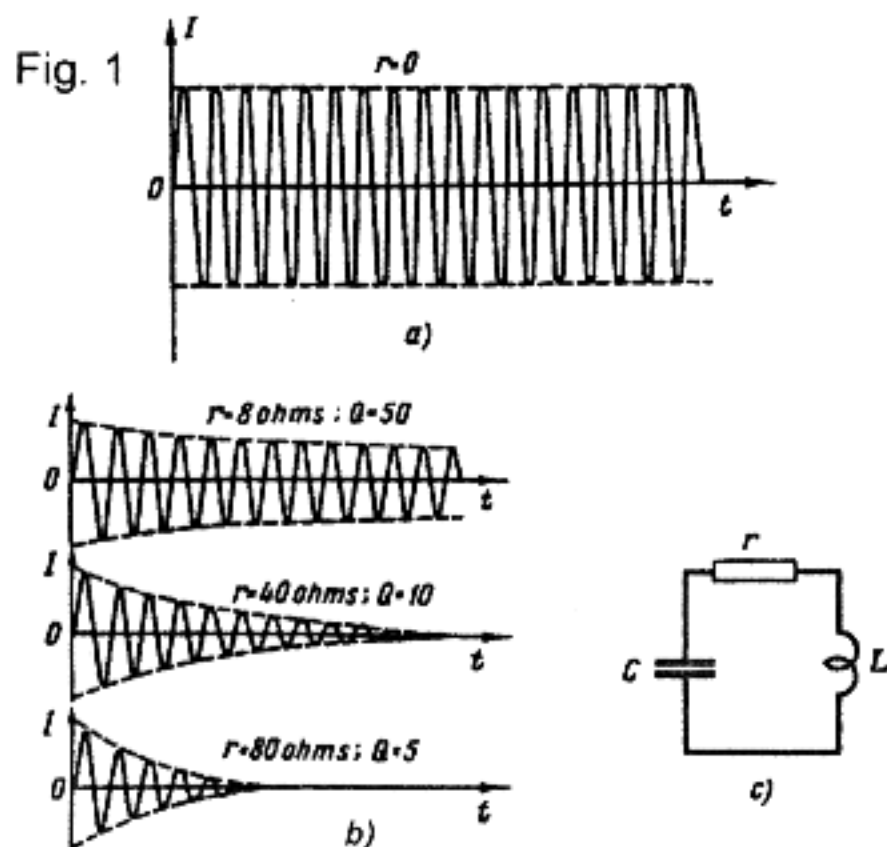
Se o número de espiras da mola for aumentado 4 vezes a *elasticidade* também será quadruplicada, enquanto a *freqüência* de *oscilação* será reduzida duas vezes. A mesma mudança de *freqüência* será obtida quadruplicando-se o peso.

Portanto, a dependência da *freqüência* de *oscilações livres* sobre esses dois parâmetros é facilmente mostrada com ajuda deste tipo de pêndulo.



## OSCILAÇÕES CONTÍNUAS E AMORTECIDAS

Até aqui nós analisamos um circuito sintonizado *perfeito*, consistindo somente de *capacitância* e *indutância*, com característica *reativa* e não causando perdas de energia. Quando não existe *resistência* no circuito, a *amplitude* das oscilações permanece constante e elas podem continuar *indefinidamente*. Tais oscilações são chamadas de **contínuas** (ver fig. 1 a).



Oscilações contínuas (a) e amortecidas (b)  
 Circuito equivalente de um circuito oscilatório sintonizado real (c).

Na realidade, cada circuito oscilatório possui uma certa quantidade de **resistência** (de outra forma, chamada de *resistência ôhmica*). Esta resistência está distribuída, principalmente, na *bobina*, parcialmente, nos *condutores* de ligação e também no *capacitor*.

A fig. 1c mostra o assim chamado *circuito equivalente* de um circuito oscilatório sintonizado prático, onde a resistência ôhmica total  $r$  é convencionalmente mostrada, ligada *em série* e a bobina e o capacitor são supostos, *não contendo resistência*.

A resistência ôhmica é, algumas vezes, referida como *resistência de perdas*.

Num circuito sintonizado, ocorrem os seguintes tipos de *perdas* de corrente de alta freqüência:

- 1) Perdas causadas pelo **aquecimento do condutor** o qual, como resultado do efeito *skin*, possui resistência *mais alta* em *alta freqüência* do que em corrente contínua.  
 O *efeito skin* é causado pelo fluxo da corrente de alta freqüência, apenas, sobre uma  *fina camada* da superfície externa do condutor, ao invés de fluir sobre toda a sua seção transversal.  
 Daí resulta que a seção transversal efetiva do condutor fica reduzida, o que  *aumenta sua resistência*. Quanto  *mais alta* for a  *freqüência*, tanto  *mais fina* a camada que transporta a corrente de alta freqüência e  *mais alta* é a resistência do condutor.
- 2) Perdas causadas pelo **aquecimento de dielétricos sólidos**, nos quais o  *campo* da corrente alternada produz oscilação de moléculas, acompanhada por atrito, a qual causa perdas devido à  *histeresis* do dielétrico.
- 3) Perdas causadas por **correntes de fuga** que surgem por que os dielétricos sólidos  *não são isolantes perfeitos*, (Com tensões altas, também se observam, no ar, fugas de cargas elétricas).
- 4) Perdas causadas pelo **aquecimento de núcleos ferromagnéticos** usados para aumentar a indutância de bobinas. Este aquecimento é causado por  *histeresis magnética* e por  *correntes parasitas* nos núcleos.

- 5) Perdas causadas por **correntes parasitas** (induzidas) em todos os objetos metálicos próximos ao circuito oscilatório e dentro da área de influência de *campos magnéticos alternados*.
- 6) Perdas causadas por **irradiação** de ondas eletromagnéticas, emitidas pelo circuito oscilatório.
- 7) Perdas causadas pela **captação de energia** de *alta frequência* por outros circuitos acoplados ao circuito oscilatório principal.

Quase todos estes tipos de perdas *crecem* com o aumento da *frequência*.

Todas estas perdas podem ser consideradas como *equivalentes* a perdas em uma *resistência ôhmica*, designada pela letra  $r$ . Desta forma, a *resistência ôhmica* de um circuito sintonizado expressa as *perdas totais* de energia, verificadas no circuito sintonizado principal.

É a *resistência ôhmica* que causa o **amortecimento** de oscilações. Devido à presença de tal resistência em um circuito sintonizado, a *amplitude* das oscilações é gradualmente "*reduzida*" e, dentro de um curto espaço de tempo, torna-se tão pequena que as oscilações são consideradas não existentes.

**Na prática, as oscilações livres, em um circuito sintonizado, são sempre amortecidas**

Quanto maior a *resistência ôhmica* de um circuito sintonizado, maior será o efeito do seu *amortecimento* sobre as oscilações.

A fig. 1 b) dá as curvas de *oscilações amortecidas*, de um mesmo circuito sintonizado, para diferentes valores de *resistência ôhmica*.

A **FREQÜÊNCIA** das oscilações permanece *constante* desde o início, até ao fim, apesar da redução gradual da amplitude.

Se o valor da *resistência ôhmica* de um circuito sintonizado for *muito grande*, o efeito do *amortecimento* torna-se tão pronunciado que o circuito cessa completamente de oscilar.

A *resistência ôhmica* afeta, em parte, a frequência de oscilação. Quanto *maior* a resistência ôhmica, *mais baixa* será a frequência. Todavia, esta influência é tão insignificante, que é desprezada em aplicações práticas.

Fórmula matemática do *amortecimento*:

$$\delta = \frac{r}{\rho} = \frac{r}{2\pi f_0 L}$$

onde:  $\delta \rightarrow$  (delta. letra grega)  $\rightarrow$  amortecimento  
 $r \rightarrow$  resistência ôhmica  
 $\rho \rightarrow$  impedância característica.

Quanto *maior* for  $r$ , comparado com  $\rho$ , *maior* será o *amortecimento*.

### OBSERVAÇÕES:

- Em circuitos sintonizados bem projetados,  $\delta$  é menor que 0,01.
- Circuitos sintonizados típicos, têm valores de  $\delta$  entre 0,05 e 0,01.
- Se o valor de  $\delta$  exceder 0,05 a qualidade do circuito sintonizado é considerada *pobre*.



Fórmula matemática do FATOR DE QUALIDADE de um circuito sintonizado:

$$Q = \frac{1}{\delta} = \frac{\rho}{r} = \frac{2\pi f_0 L}{r}$$

onde:

Q: Fator de qualidade

Quanto *menor* o *amortecimento* de um circuito sintonizado, *mais alto* será o seu **Q**.

#### OBSERVAÇÕES:

- O valor de Q em um circuito sintonizado típico está compreendido entre 20 e 100.
- Se **Q** exceder a 100, o circuito sintonizado é considerado como de *alta qualidade*.
- Circuitos sintonizados pobres, possuem valores de **Q** menores que 20.

As comunicações modernas, por rádio, requerem *oscilações contínuas* mantidas durante *qualquer* duração de tempo. Tais oscilações podem ser produzidas por *aplicações periódicas* de energia a um circuito sintonizado a fim de *compensar* as perdas do circuito.

Na prática, isto é conseguido *ligando-se* o circuito sintonizado a uma *fonte* de F.E.M., por exemplo, uma bateria, a qual *completa* a carga do capacitor. Tal ligação seria feita com *freqüência igual* a do circuito sintonizado e, somente, durante aqueles *quartos de período* quando o capacitor é *carregado*.

Obviamente, tal procedimento **NÃO** pode ser levado a *cabo manualmente*; *nem* pode ser realizado automaticamente com ajuda de um *relé* eletromagnético, pois este último tem inércia considerável.

Para *freqüências* de *centenas de milhares* e de *milhões* de ciclos por segundo (ou hertz) somente válvulas eletrônicas ou *semicondutores* podem servir como substitutos dos citados relés automáticos.

## **48. OSCILAÇÕES FORÇADAS E RESSONÂNCIA**

Diferentes das oscilações livres, as **oscilações forçadas** não se estabelecem espontaneamente, mas são levadas a efeito através de alguma força periódica externa.

Por exemplo: - As oscilações elétricas em uma antena receptora *não são livres*, pois elas *não* são causadas por um armazenamento inicial de energia, mas sim, criadas pela presença de ondas de rádio.

Vamos primeiramente analisar as *oscilações forçadas* de um *pêndulo* possuindo uma *freqüência natural* definida. Vamos fazer este pêndulo oscilar *manualmente* a diferentes freqüências. A característica deste movimento (*oscilação*), depende sobretudo do movimento da *nossa mão* e pode ser, particularmente, *senoidal*. *Periodicamente*, é aplicada *energia externa* ao pêndulo; conseqüentemente, suas oscilações serão *contínuas* e podem possuir qualquer *freqüência*, determinada somente pela freqüência da *força externa* aplicada.

Um fenômeno semelhante pode também ocorrer num *circuito elétrico oscilatório*, se ele for ligado a um *gerador* de corrente alternada. Para *qualquer*

freqüência do gerador a corrente alternada *fluirá* através do circuito sintonizado, isto é, ocorrerão *oscilações elétricas forçadas*, no circuito sintonizado na **mesma freqüência** do gerador.

#### OBSERVAÇÃO:

*Estes são experimentos destinados a produzir uma oscilação forçada.*

As **oscilações forçadas** possuem propriedades completamente *diferentes* daquelas das **oscilações livres**.

Essas propriedades podem ser sintetizadas como segue:

- 1) As *oscilações forçadas* são **contínuas** (ininterruptas) e *não* estão sujeitas ao *amortecimento* (mais precisamente: - elas existem enquanto a F.E.M. externa for *aplicada* ao circuito sintonizado);
- 2) Elas podem ter **diferentes formas**, dependendo, sobretudo, do *aspecto* da F.E.M.;
- 3) Sua **freqüência** quase *não* depende de  $L$  e de  $C$  do circuito sintonizado, sendo *determinada* pela *freqüência* da F.E.M. aplicada;
- 4) Sua **amplitude** quase *não* depende do valor da **F.E.M.** aplicada mas, sobretudo, da *relação* entre a *freqüência* desta F.E.M. e a *freqüência natural* do circuito sintonizado.

Esta última propriedade citada é de *especial interesse* e deve ser analisada em detalhes.

As *oscilações livres* de uma determinada freqüência ocorrem em *qualquer circuito sintonizado* no qual se tenha feito um *armazenamento* de energia. Quando o *amortecimento* *não* é muito pronunciado, assim mesmo este pequeno *armazenamento inicial* de energia manterá as oscilações por um tempo considerável. Agora, como já sabemos, uma F.E.M. externa periódica tem de ser aplicada ao circuito a fim de *manter indefinidamente* as oscilações de natureza *forçada*.

Quanto *maior* for a diferença entre a *freqüência natural* do circuito e a freqüência da F.E.M. aplicada, tanto *maior* deverá ser o valor desta F.E.M. para manter as oscilações.

Quanto *menor* for a diferença entre essas *freqüências*, tanto *maior* será a *amplitude* das oscilações forçadas e tanto *menor* será a energia necessária para mantê-las.

Se a *freqüência* da F.E.M. aplicada for igual à *freqüência natural* do circuito sintonizado, a *amplitude* das oscilações atingirá o seu *máximo* e a aplicação de qualquer aumento *insignificante* de energia manterá o processo oscilatório. Tal situação é definida como **ressonância**.

O fenômeno de **ressonância** é obtido quando há coincidência entre a freqüência da F.E.M. aplicada externamente e a freqüência natural do circuito sintonizado; é quando a *amplitude* das oscilações forçadas atinge o valor *máximo*.

"A condição requerida para a *ressonância* é a *igualdade* entre a *freqüência* do gerador externo e a *freqüência* do circuito sintonizado".

Certamente, tal *igualdade* de *freqüências* é uma condição de *ressonância* puramente matemática, a qual seria sempre considerada num determinado caso, caracterizado por propriedades bem definidas.

A *freqüência* à qual ocorre a *ressonância* é chamada de **freqüência ressonante** ou  $f_{res}$  e é igual à freqüência natural  $f_0$  do circuito sintonizado.

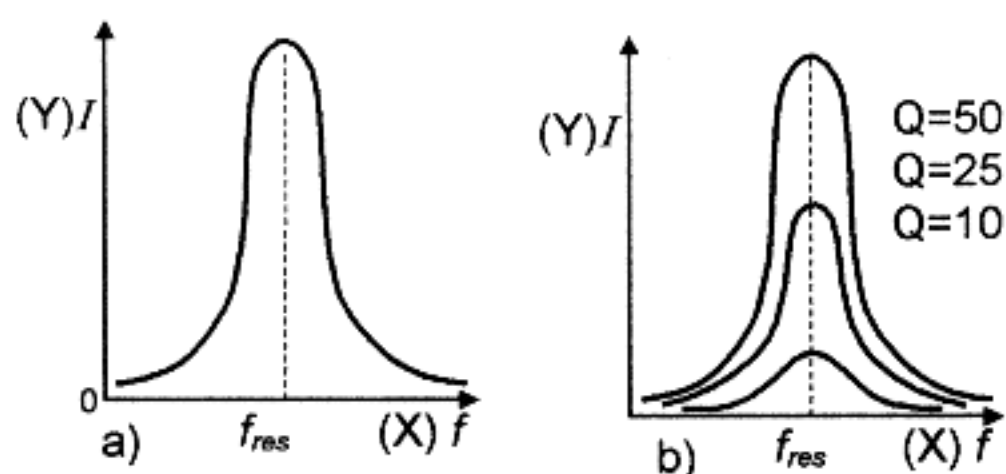


FIG. 3 - CURVAS DE RESSONÂNCIA DE UM CIRCUITO SINTONIZADO

**CONDIÇÃO PARA A OCORRÊNCIA DE RESSONÂNCIA QUANDO EXISTE OSCILAÇÃO FORÇADA:**

- Esta condição pode ser obtida tanto por mudança da freqüência do gerador (conservando-se constante a freqüência do circuito sintonizado), como mudando a freqüência natural do circuito sintonizado, variando-se  $C$   $L$ , enquanto a freqüência do gerador permanece constante.

Para ambos os casos, a *ressonância* é claramente ilustrada pelas curvas da fig.3 a), mostrando-se a dependência da *amplitude* de oscilação em um circuito sintonizado, em função da *freqüência*. A *freqüência* variável (tanto do gerador como do circuito sintonizado) é marcada ao longo do eixo dos "X", o qual também mostra o valor de  $f_{res}$ . A corrente através do circuito sintonizado é marcada ao longo do eixo dos "Y".

Como podemos ver na *curva de ressonância*, quando existe a *condição de ressonância*, a *corrente* no circuito sintonizado (isto é, a *amplitude* das oscilações forçadas no circuito) está no valor *máximo*. Também pode ser visto que a *corrente* no circuito *decrece* quando a *freqüência muda* em ambos os sentidos.

O efeito de *amortecimento* no circuito sintonizado influencia fortemente a *ressonância*. Se as curvas de *ressonância* forem "plotadas" (consideradas graficamente) na mesma escala, para diversos circuitos sintonizados possuindo *vários graus de amortecimento*, será observado que, nos circuitos com *pequeno amortecimento*, as curvas de *ressonância* serão mais agudas e mais pronunciadas. (Isto é claramente mostrado na figura 3 b).

Uma curva de *ressonância* bem definida indica que o circuito sintonizado não tem, praticamente, resposta às oscilações que diferem, em *freqüência*, da *freqüência natural do circuito*; *mas na ressonância* com a *freqüência certa*, tal circuito responderá prontamente e *fortes oscilações* ocorrerão nele.

Isto é chamado de **ressonância aguda**.

Num circuito excessivamente amortecido, a *amplitude* de oscilações, *na ressonância*, é baixa e o circuito responderá a oscilações cujas *freqüências* diferem consideravelmente da *freqüência de ressonância*.

Isto é chamado de **ressonância larga**.

"Quanto menor for o amortecimento num circuito, mais aguda é a *ressonância* e maior é a sensibilidade do circuito às oscilações na *freqüência de ressonância*".

A condição de *ressonância* é produzida pela obtenção de *oscilações potentes* de alta energia e com excitação externa *muito pequena*. Esta excitação é necessária *somente* para a *compensação de perdas* de energia ocorridas no circuito na sua condição oscilatória.



## 49. COMPRIMENTO - FREQUÊNCIA - VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO - AMPLITUDE ... DE UMA ONDA

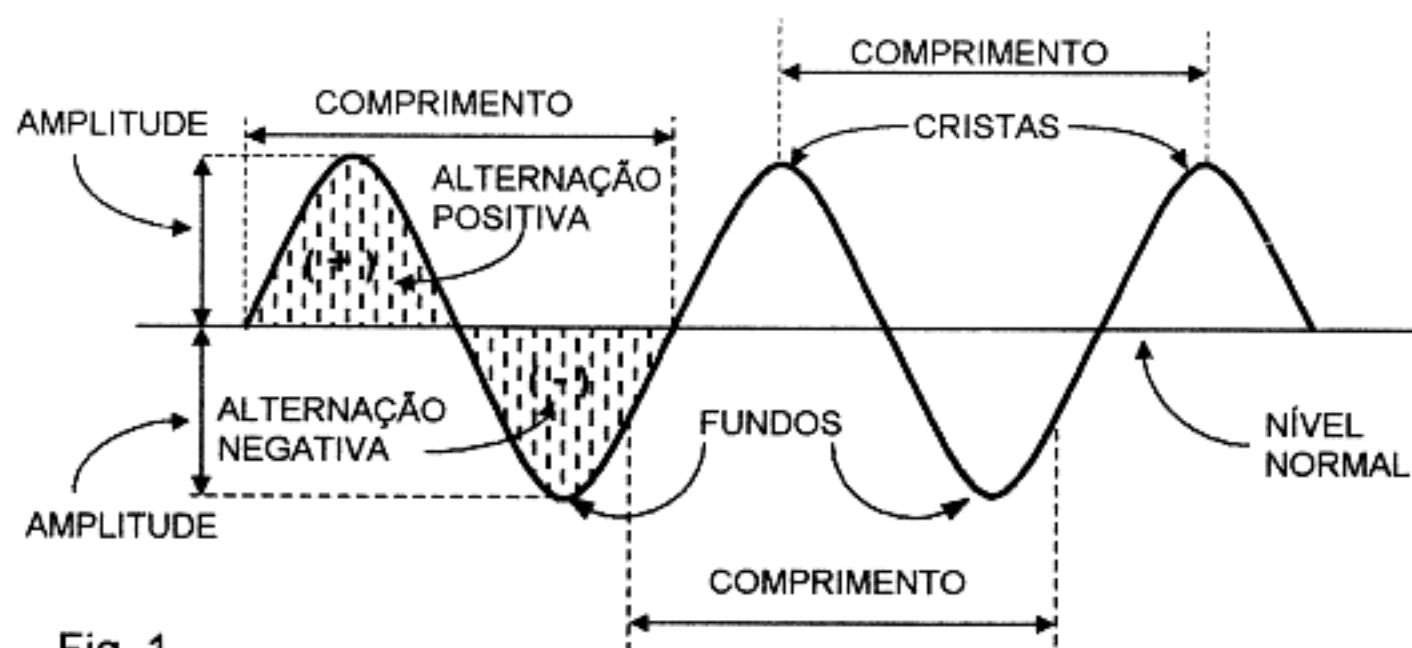


Fig. 1

### COMPRIMENTO DE ONDA

Para melhor compreender a definição de **comprimento de onda**, vamos estudar a figura 1 acima. Ali vemos que é a *distância* entre qualquer ponto de uma onda e o *mesmo ponto* da onda seguinte. Isto é, o **comprimento de onda** é a distância compreendida entre duas cristas sucessivas, dois fundos sucessivos ou entre *dois pontos iguais* de quaisquer das ondas sucessivas. O comprimento é, em geral, expresso em metros. Portanto, quando dissermos que uma determinada onda de rádio tem um comprimento de 200 metros, queremos dizer que a distância entre pontos correspondentes de duas ondas sucessivas é de 200 m .

### FREQUÊNCIA

O termo *freqüência* indica a quantidade de ciclos completos que ocorrem em determinado ponto, dentro de certo espaço de tempo. As figuras 1 e 2 também mostram que **1 ciclo** é composto de duas alternâncias (uma positiva e outra negativa) que se sucedem.

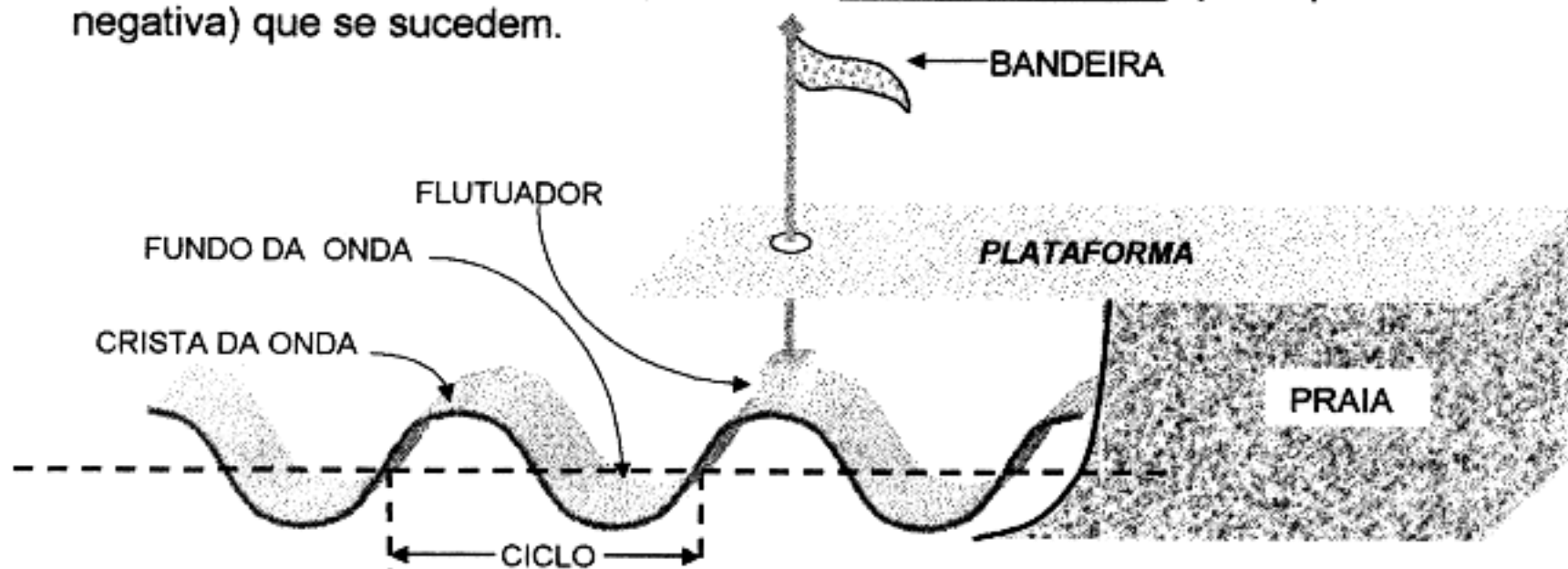


Fig. 2 - MÉTODO PARA DETERMINAR O NÚMERO DE CICLOS EM DETERMINADO PONTO

A figura 2 explica melhor o que é a *freqüência*. Ali temos uma plataforma colocada sobre a superfície da água. Uma vareta indicadora passa através de um orifício perfurado na plataforma. Numa das extremidades da vareta está fixado um flutuador e, na outra extremidade, temos uma bandeira indicadora.

O flutuador faz com que a vareta se eleve ao máximo, quando uma crista de onda passar por este lugar, e que desça ao máximo, quando um fundo de onda passar pelo mesmo lugar. Duas alternações completas (uma para cima e outra para baixo) da vareta constituem **um ciclo**; a *rapidez* com que a vareta sobe e desce, indica a **freqüência** do movimento ondulatório. Por exemplo: se o indicador marcar *quatro ciclos completos* durante *um minuto*, diremos que a *freqüência* deste movimento ondulatório é de quatro ciclos por minuto. Esta condição aparece ilustrada na figura 3 (abaixo), onde a distância horizontal representa *um minuto* de tempo.

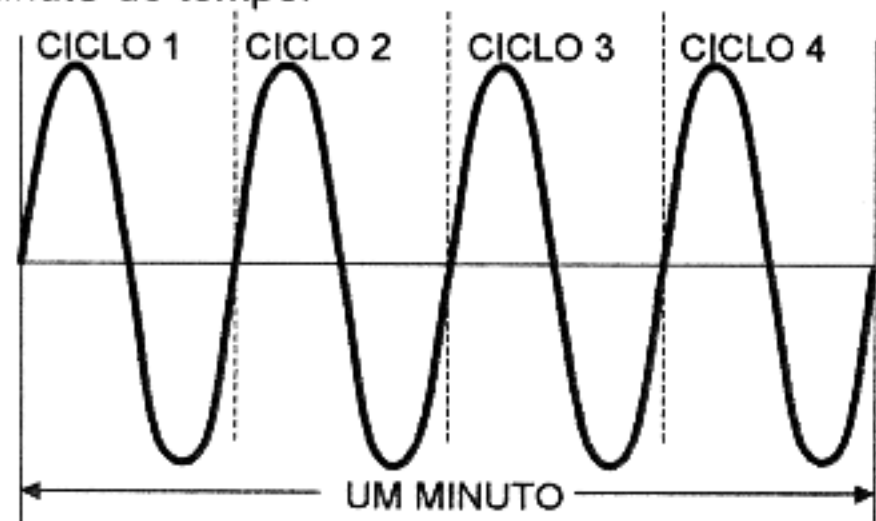


Fig. 3 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA ONDA DE 4 CICLOS

As ondas de rádio e as de som, são de freqüência muito maior que a freqüência das ondas geradas na água.

As ondas de rádio têm freqüências tão altas, que não seria prático expressá-las em ciclos, por esta ser uma unidade muito pequena.

UM *ciclo por segundo* (c/s) é o mesmo que 1 *hertz*.

Adotou-se, portanto, unidades maiores para este fim. O quilociclo por segundo (kc/s) ou *quilohertz*, por exemplo, equivale a 1.000 ciclos por segundo (1.000 c/s) ou 1 kc/s = 1kHz. Assim é que, se uma onda irradiada por determinada estação difusora tiver freqüência de 600.000 ciclos por segundo (c/s), torna-se muito mais simples expressarmos este valor como 600 quilociclos por segundo, 600 kc/s ou 600 kHz.

Para freqüências muito altas, emprega-se, em geral, a unidade *megaciclos por segundo* (Mc/s ou MHz) que é igual a *um milhão* de ciclos por segundo.

Assim, 60.000.000 de c/s é igual a 60 megaciclos por segundo (60 Mc/s ou 60 MHz). Como se vê, os termos quilociclos e megaciclos são de muita utilidade, pois evitam o uso de grande número de zeros ao tratarmos de altas freqüências.

## AMPLITUDE

O termo **amplitude** também está ilustrado na figura 1. Este termo indica a *distância* que há entre a crista e o nível normal ou entre o fundo e o nível normal.

## VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO

As ondas de rádio propagam-se pelo espaço com determinada velocidade. Demonstrou-se que estas ondas avançam a uma velocidade aproximada de 300.000 quilômetros por segundo (300.000 km/s).

Isto equivale a circular 7,5 vezes ao redor da Terra, *num segundo*. Daí,



compreende-se, naturalmente, que as mensagens de rádio chegam ao receptor praticamente ao mesmo tempo que são transmitidas pela estação difusora. Portanto, pode-se considerar esta ação como *instantânea*.

A velocidade na qual as ondas eletromagnéticas se propagam num meio depende muito da constante dielétrica do meio.

Para as **freqüências das ondas de rádio** (radiofreqüências), a constante dielétrica do ar é, na prática, igual à unidade (=1), portanto, tais ondas se propagam também com a mesma velocidade da luz no vácuo, ou seja, 300.000 km/s. Esta também é, aproximadamente, a mesma velocidade de uma carga que se desloca ao longo de um fio condutor.

Se a constante dielétrica for maior do que 1, a velocidade de propagação é *mais baixa*. Portanto, a presença de apreciável quantidade de material isolante tendo uma constante dielétrica maior do que 1 reduzirá o valor da **velocidade da onda**. Este efeito é freqüentemente verificado na prática em conexões tanto de **antenas** como de **linhas de transmissão**. Ele faz com que o **comprimento elétrico da linha** ou da antena seja um pouco maior do que o respectivo **comprimento físico**.

A relação entre a *velocidade de propagação*, a *freqüência* e o *comprimento de onda*, é expressa pela fórmula:

$$\boxed{C = \ell \cdot f} \quad \boxed{\ell = \frac{C}{f}} \quad \text{e} \quad \boxed{f = \frac{C}{\ell}}$$

onde:

C: Velocidade de propagação da onda no meio considerado (em m/s).

$\ell$ : Comprimento de onda (em metros).

f: Freqüência (em c/s ou Hz).

Na fórmula dada acima:  $\ell = \frac{C}{f}$

onde:

C = *velocidade de propagação* da onda de R.F. no ar (ou no vácuo) que vale: 300.000 km/s ou 300.000.000 m/s

f = freqüência (em c/s ou Hz)

$\ell$  = comprimento da onda (em m).

substituindo-se C pelo seu valor, teremos:

$$\boxed{\ell = \frac{300.000.000}{f}}$$

Esta fórmula também serve para o cálculo do comprimento de *antenas* ou de *linhas de transmissão*, com algumas modificações devido ao efeito (do dielétrico) dos isoladores; usando-se a freqüência em MHz, obtém-se as fórmulas finais:

$\ell_m = \frac{300 \times 0,95}{f_{\text{MHz}}}$	ou	$\boxed{\ell_m = \frac{285}{f_{\text{MHz}}}}$	→	para antenas de ONDA COMPLETA
$\ell_m = \frac{300 \times 0,95}{2 f_{\text{MHz}}}$	ou	$\boxed{\ell_m = \frac{142,5}{f_{\text{MHz}}}}$	→	para antenas de MEIA ONDA
$\ell_m = \frac{300 \times 0,95}{4 f_{\text{MHz}}}$	ou	$\boxed{\ell_m = \frac{71,25}{f_{\text{MHz}}}}$	→	para antenas de ¼ DE ONDA

**OBS.:** Para o cálculo de linhas de transmissão deve ser usado ainda um fator chamado de **fator de velocidade** da linha ou cabo.

Este **fator de velocidade** é tabelado nos *manuals* e depende da natureza do *dielétrico* (ou isolante) das linhas ou cabos.

**EXEMPLOS:**

a) Calcular o comprimento de uma *antena de ½ onda* que deverá ser *ressonante* na frequência de 7.150 kHz ou 7,15 MHz (banda de 40 m).

Solução: Aplicando-se a fórmula para antenas de ½ onda, temos:

$$\ell_m = \frac{142,5}{f_{\text{MHz}}} = \frac{142,5}{7,15 \text{ MHz}} = 19,93 \text{ m}$$

b) Qual a frequência de ressonância de uma antena de meia onda com 38,50 m de comprimento?

Solução:

$$\ell_m = \frac{142,5}{f_{\text{MHz}}} \quad \text{donde:} \quad f_{\text{MHz}} = \frac{142,5}{\ell_m}$$
$$f_{\text{MHz}} = \frac{142,5}{38,50} = \boxed{3,7 \text{ MHz}}$$

## 50. NOÇÃO DE MOVIMENTO DE ONDAS

*Movimento de ondas* é a propagação de um distúrbio de alguma espécie.

Por exemplo, se nós batermos na extremidade de uma barra metálica, é produzida uma *compressão* naquele extremo, a qual **se transmite** ao longo da barra, com uma *velocidade* definida.

Já vimos que a velocidade com a qual o distúrbio progride é denominada **velocidade de onda**.

A velocidade de ondas mecânicas depende das propriedades do meio e, em alguns casos, da frequência. A dependência da velocidade da onda em relação à frequência é chamada **dispersão da velocidade**.

Quando ondas mecânicas se *propagam* num meio, as partículas (moléculas) do meio **vibram** em relação à posição de equilíbrio.

A *velocidade* das partículas (moléculas) do *meio* é chamada de **velocidade de vibração**. Quando as ondas se *propagam* em um *meio*, os parâmetros que *caracterizam* o meio (por exemplo: *densidade*, *deslocamento de partículas*, *pressão*, etc.) *variam* em qualquer ponto do espaço, de acordo com a função (trigonométrica) seno; as ondas são chamadas **ondas senoidais**.

Uma característica importante das *ondas senoidais* é o comprimento de onda  $\ell_m$ , (ou  $\lambda \rightarrow$  lambda). Como já vimos anteriormente, o **comprimento de onda** é definido como "a distância percorrida pela onda no período".

A *superfície* compreendida por todos os pontos que têm uma fase comum é chamada frente de onda.

**OBS.:** Pontos de fase comum são pontos correspondentes de uma mesma onda.

De acordo com a forma da *frente de onda*, nós distinguimos **ondas planas**, **cilíndricas** e **esféricas**.

## 51. ONDAS LONGITUDINAIS E ONDAS TRANSVERSAIS

Dependendo da *forma* como as partículas (moléculas) do meio são deslocadas em relação ao *sentido* de propagação da onda, nós distinguimos **ondas longitudinais** e **ondas transversais**.

Em ondas longitudinais, as partículas do meio oscilam na *direção da propagação*.

Em ondas transversais, as partículas oscilam *perpendicularmente* à *direção de propagação* da onda.

**EXEMPLO**

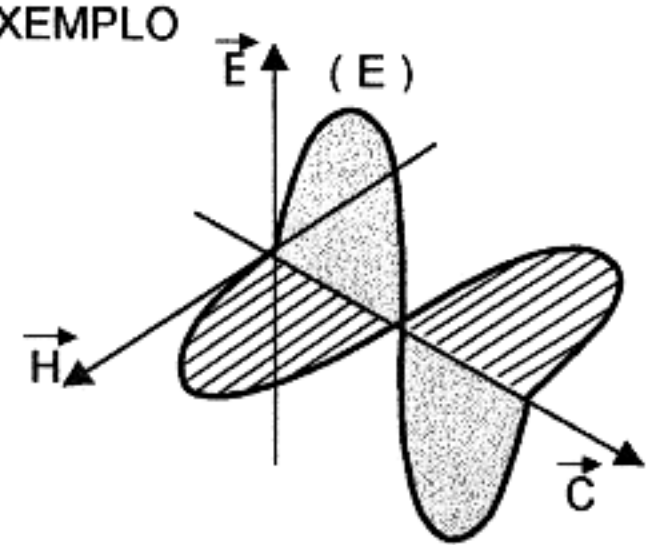


Fig. 1 - Vetores  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  e  $\vec{C}$  em ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Como se ilustra na figura 1, ao lado, as **ondas eletromagnéticas** (de Rádio) representam um processo de *propagação* de variação simultânea dos campos *elétrico* e *magnético* já estudados anteriormente.

Nesta mesma figura, distinguimos os **vetores** (= segmentos de reta orientados).

$\vec{E}$  = campo elétrico  
 $\vec{H}$  = campo magnético  
 $\vec{C}$  = velocidade de propagação (também representada pela letra  $v$ ).

Na referida figura estão representados ciclos de oscilação (E) do campo elétrico e (H) do campo magnético.

Note-se que em ambos os campos, as partículas oscilam na direção *perpendicular* ( $90^\circ$ ) em relação ao sentido de propagação da onda, representado por C. Essas ondas (dos campos *elétrico* e *magnético*) são **transversais**.

As ondas mecânicas em *líquidos* e *gases* são *longitudinais*.

Em uma barra de comprimento  *muito superior* em relação às demais dimensões, as ondas mecânicas são **longitudinais**.

## 52. INTERFERÊNCIA

Estudo da *interferência* como resultado da **superposição de ondas** de mesmo *comprimento de ondas*.

A *interferência* é o fenômeno pelo qual duas ondas **somam** seus efeitos.

**EXEMPLO:** - As ondas produzidas por duas lanchas que se movem em um lago *interferem* ao se cruzarem.

A interferência é **construtiva** quando as *cristas* das duas ondas se encontram, formando novas cristas aumentadas.

O *deslocamento* (amplitude) da *nova crista* é igual à *soma* (geométrica) das amplitudes das duas *cristas*. O mesmo ocorre quando dois *fundos* (*depressões* ou *cavas*) da onda se somam, resultando um novo *deslocamento*.

Entretanto, se o *fundo* de uma onda encontra uma crista da outra, *anulam-se* os efeitos e a *interferência* resultante chama-se **destrutiva**.

Pelo exposto, concluímos que o exemplo acima serve para identificar tanto *interferência construtiva* (encontro de *cristas* com *cristas* ou *fundos* com *fundos*) quanto destrutiva (encontro de *cristas* com *fundos*).

**OBS.:** Isto tudo é válido somente para **superposição de ondas** que sejam do **mesmo comprimento de onda** ou da **mesma frequência**.

Se as ondas são *ondas eletromagnéticas*, o deslocamento se refere à *intensidade de campo elétrico* ou *magnético*.

## EXEMPLOS USANDO R.F.

Para melhor ilustrar o efeito de **interferência construtiva** citamos este fato:

Em determinadas noites, em que não há propagação para estações de radioamadores (mormente na banda de 40 metros), isto é, não se ouve nenhuma estação de radioamador isoladamente na faixa, apenas poderosas estações de "broadcasting". De repente, ao sintonizarmos uma dessas estações, notamos que há uma estação de radioamador sobreposta na "crista da onda" da referida estação de "broadcasting". Também pelo que já foi exposto anteriormente, é possível se aumentar a potência de uma estação, sobrepondo a onda da mesma à onda de outra estação produzindo-se, desta forma, uma interferência construtiva.

Quanto à **interferência destrutiva** é notório o caso da interferência propositada, conhecida na América do Norte como "*jamming*". Trata-se de uma interferência produzida sobre emissoras de países, tais como *Cuba*, *Albânia*, *China* ou de outros países da *ex-cortina de ferro*, para evitar que notícias ou comentários divulgados cheguem a outros países da América.

## 53. REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS DE RÁDIO

Num meio homogêneo, as ondas de rádio se movem em LINHA RETA, mas quando uma onda passa de um meio para outro, ocorre **reflexão** e **refração**. Este fenômeno ocorre no limite dos dois meios com permeabilidades dielétricas  $\epsilon_1$  e  $\epsilon_2$ . ( $\epsilon \rightarrow$  epsilon, letra grega).

Quando uma onda atinge o *limite* entre esses dois meios, ela se *reflete* segundo um certo ângulo, ocorrendo a **reflexão** (FIG. 1).

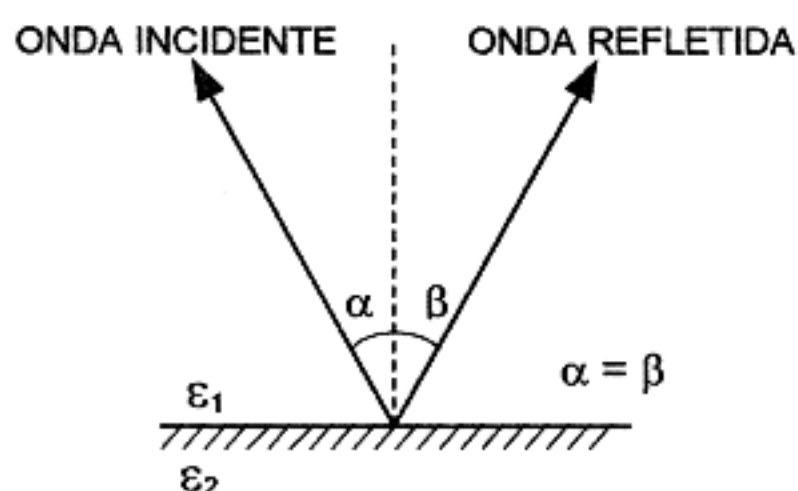


Fig.1 - REFLEXÃO DE ONDA

$\alpha$  : (alfa)  $\rightarrow$  ângulo de incidência

$\beta$  : (beta)  $\rightarrow$  ângulo de reflexão

Uma onda que incide sobre uma superfície plana, formando um ângulo reto ( $90^\circ$ ) é *refletida* segundo o mesmo ângulo, isto é, retorna pelo mesmo caminho. Mas se uma superfície plana for atingida por um feixe paralelo de ondas, o feixe, após a *reflexão*, permanecerá paralelo no seu retorno da superfície.



Todavia, se a superfície for desigual, as ondas refletidas *divergirão*. Os *condutores* são os melhores *refletores* das ondas de rádio.

Os meios físicos da *reflexão* das ondas de rádio são explicados como segue:

"As ondas incidentes desenvolvem *correntes* na camada superficial de um corpo refletor; essas correntes produzem a radiação de novas ondas eletromagnéticas, isto é, ondas refletidas".

Quando uma onda de rádio passa de um meio para outro, a onda é **refratada**, isto é, a direção do seu trajeto muda (fig. 2).

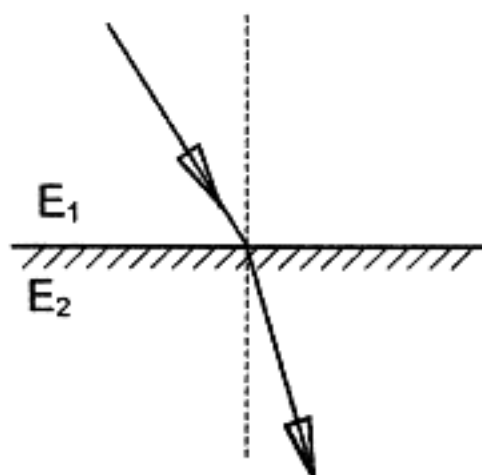


Fig. 2 - REFRAÇÃO DE ONDA

Quanto maior for a diferença entre as *permeabilidades* dos dielétricos  $E_1$  e  $E_2$  e maior o comprimento de onda, mais pronunciada será a **refração**. O fenômeno de **refração** acontece por causa das diferenças de velocidade com a qual as ondas de rádio passam através dos vários meios. Então, uma onda de rádio que flui num condutor é parcialmente absorvida e parcialmente *refletida*.

Encontrando um meio *dielétrico* ou um meio *semicondutor* ela é **absorvida**, **refletida** e **refratada**.

-- o O O O o --





## SEGUNDA PARTE

### **RADIOELETRICIDADE - CLASSE "A" - Complementação.**

OBSERVAÇÃO - Para a classe "A" são exigidos os conhecimentos já expostos na 1ª PARTE (classe "B"), complementados pelos constantes nesta 2ª PARTE.

### **1. BOA CONDUTIVIDADE DOS METAIS EM FUNÇÃO DE SUA ESTRUTURA MOLECULAR**

Nos itens 8 e 9 da primeira parte destas noções estudamos *resistência e diferença entre condutores e isolantes*.

Naquele estudo observamos que a resistência de um condutor depende dos fatores:

- COMPRIMENTO
  - DIÂMETRO
  - NATUREZA
- } do condutor

A natureza de um condutor (ou de um isolante) está associada a um fator intrínseco do material usado, fator este que se chama resistividade.

Quanto maior for a resistividade do material que forma o *condutor* (ou *isolante*) maior será sua *resistência*.

Ao inverso da *resistividade*, damos o nome de condutividade.

A *condutividade* é pois uma propriedade do condutor, de maneira que:

Os materiais condutores que possuem menor resistividade (ou *resistência*), também possuem maior condutividade.

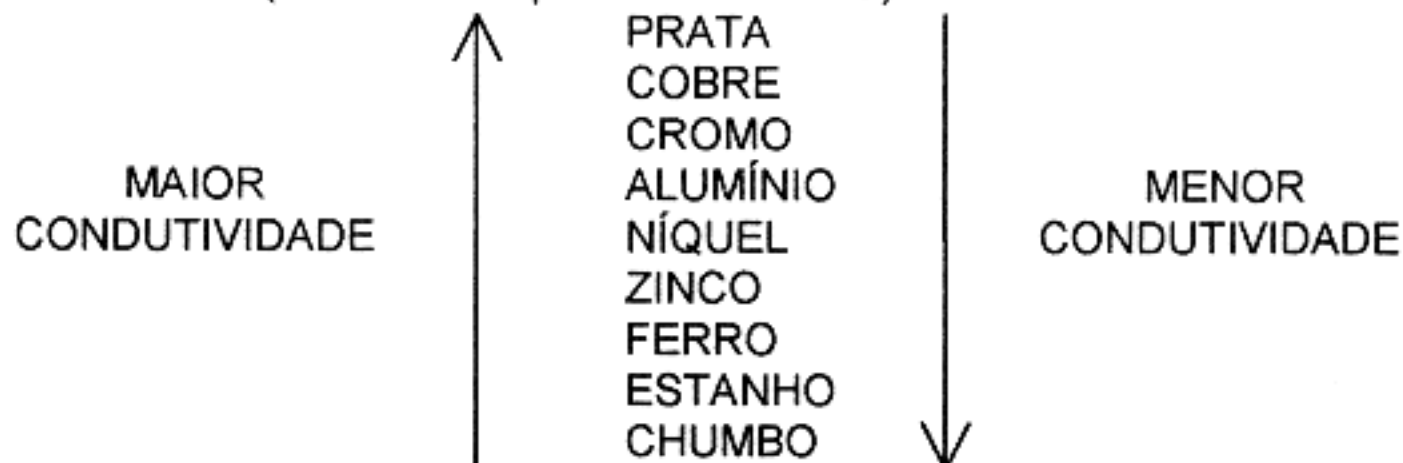
Portanto, maior condutividade significa conduzir melhor.

#### CONCLUSÃO PRÁTICA:

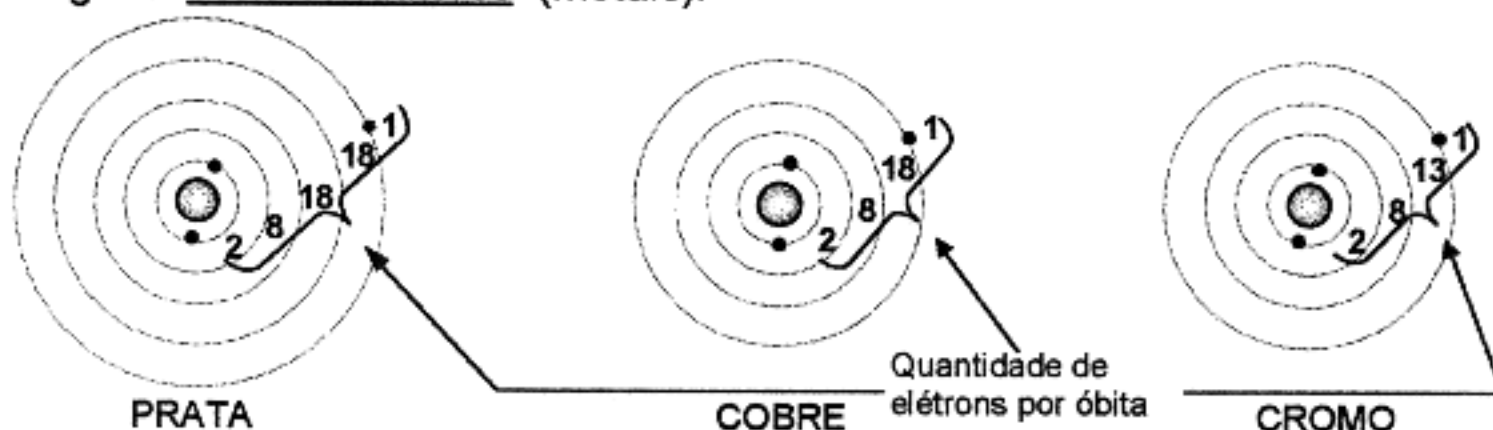
Os chamados *bons condutores* (alumínio, cobre, prata, ouro, platina e outros metais), possuem maior condutividade do que os *maus condutores* (ar, vidro, madeira seca, água pura, etc.), que possuem *condutividade quase nula*.

Nem todos os metais possuem a mesma condutividade.

Damos, a seguir, uma relação de alguns metais em ordem decrescente de condutividade (todos na temperatura de 20° C).



Nas figuras abaixo estão representados os átomos que formam as moléculas de alguns bons condutores (metais).



Examinando-se essas figuras nota-se que os átomos (que formam as moléculas) dos metais (bons condutores), possuem elétrons livres.

Estes elétrons livres (da última órbita) são os responsáveis pela condução da corrente elétrica.

**CONCLUSÃO:**

Os metais conduzem bem a eletricidade porque eles possuem elétrons livres em sua última órbita.

**2. LEI DE JOULE**

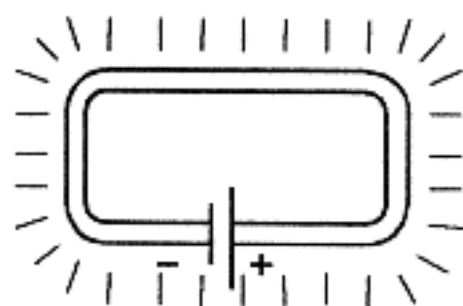


Fig. 1

Quando uma corrente elétrica passa por um condutor, o condutor aquece.  
Esse fenômeno é chamado Efeito Joule.

Assim, todo mundo sabe que uma lâmpada se aquece quando funciona. Sabe-se também que os fogões elétricos, os fornos elétricos, as estufas elétricas, etc., utilizam a corrente elétrica para produção de calor.

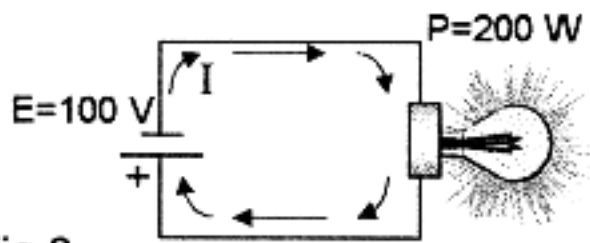


Fig.2

Na figura (2) ao lado, a corrente  $I$  que circula pelo circuito faz a lâmpada acender e aquecer.

Dizemos que a lâmpada aquecerá mais e conseqüentemente dará mais luz, quanto maior for a corrente  $I$ .

Se a resistência do filamento da lâmpada da fig. 2 for de  $50 \Omega$ , a corrente  $I$  que circula no circuito vale (segundo a lei de Ohm):

$$I = \frac{E}{R} = \frac{100 \text{ V}}{50 \Omega} = 2 \text{ A}$$

Enquanto a lâmpada estiver acesa ela consome uma quantidade de *energia elétrica* e produz uma quantidade de *calor*, ambas proporcionais à sua potência.

FÓRMULA DA POTÊNCIA

$$P = E \times I$$

A unidade de *potência* é o Watt

Símbolo do *watt* → W

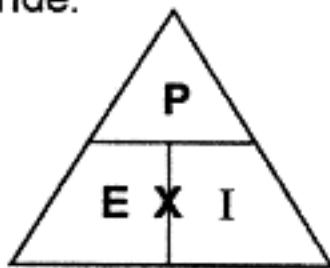
Pela fórmula da *potência* vê-se que

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ volt} \times 1 \text{ ampère}$$

Isto é, calcula-se a *potência* em *watts* multiplicando-se a tensão em *volts* pela corrente em *ampères*.

Tal como na lei de *Ohm*, pode-se adotar a fórmula lembrete em triângulo:

onde:

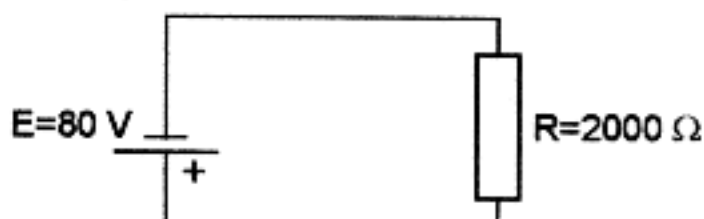


$$P = E \times I$$

$$I = \frac{P}{E}$$

$$E = \frac{P}{I}$$

Exemplo:

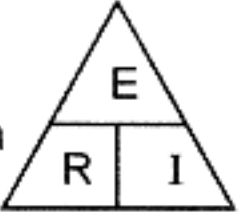


No circuito ao lado, qual a *potência*  $P$  dissipada pelo resistor  $R$ ?

$$P = E \times I \quad \text{a)}$$



Como não temos o valor de I, vamos calculá-lo pela lei de Ohm:

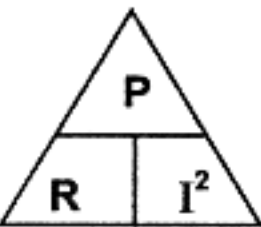
Da fórmula  tiramos:  $I = \frac{E}{R}$

ou  $I = \frac{80 \text{ V}}{2000 \Omega} = 0,04 \text{ A}$

Finalmente, usando-se a fórmula a), teremos  $P = E \times I = 80 \text{ V} \times 0,04 \text{ A} = 3,2 \text{ watts}$  ou 3,2 W

Observe também que na fórmula a)

$P = E \times I$  mas pela lei de Ohm você sabe que  $E = R \times I$   
 $P = R \times I \times I$   
 logo,  $P = R \times I^2$

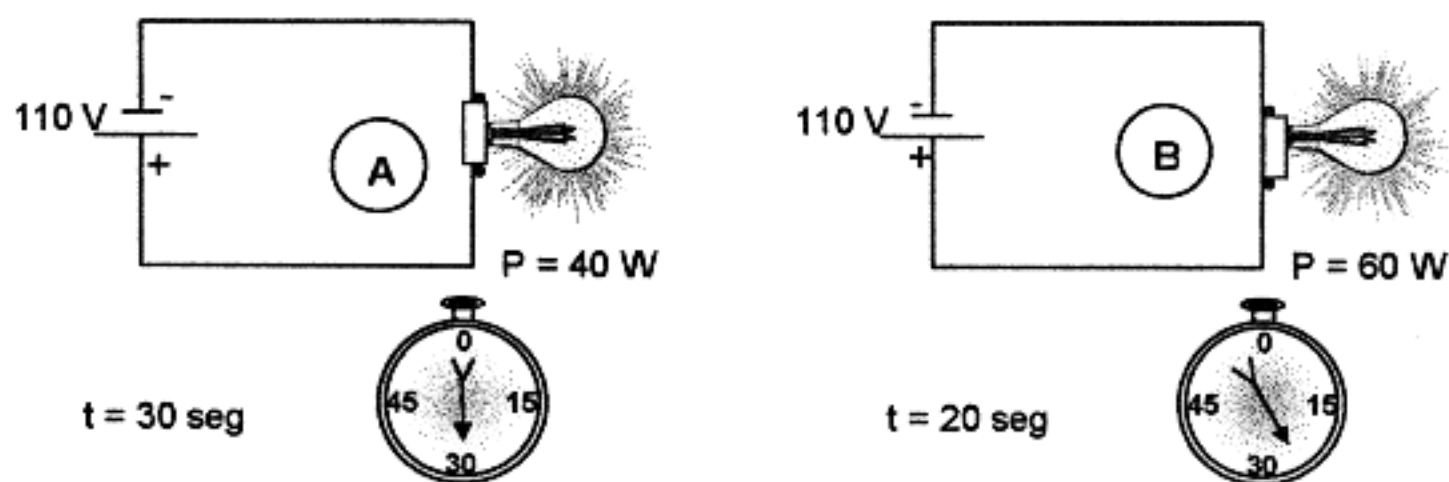
 donde sai

$R = \frac{I^2}{P}$   
 $I^2 = \frac{P}{R}$  (RAIZ QUADRADA)  
 $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$   
 ou  $I = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{R}}$

Se uma lâmpada de 40 W ficar acesa durante 20 minutos ela consome mais *energia* do que se ficasse ligada apenas 10 minutos.

Então podemos dizer que a *energia* gasta num tempo maior é *maior*, ou que a *energia* gasta é proporcional ao tempo em que circula a corrente.

Também é verdade que uma lâmpada de 60 W ligada durante 10 minutos gasta mais energia que uma lâmpada de 40 W ligada durante o mesmo tempo.



Em **(A)** temos uma lâmpada de 40 W ligada durante 30 segundos. Em **(B)** temos uma lâmpada de 60 W ligada durante 20 segundos.

Qual delas gastou mais energia?

Solução:

- A energia gasta em **(A)** vale

$$\mathcal{E} = 40 \text{ W} \times 30 \text{ seg} = 1.200 \text{ W}\cdot\text{seg}$$

- Em **(B)** a energia gasta vale

$$\mathcal{E} = 60 \text{ W} \times 20 \text{ seg} = 1.200 \text{ W}\cdot\text{seg}$$

Conclusão: - Cada lâmpada gastou a mesma energia.

A energia  $\mathcal{E}$  pode ser expressa em joules.

OBS.: - *Joule* – Unidade prática de calor ou trabalho, equivalente à energia produzida em 1 segundo por uma corrente de 1 ampère que passa através de uma resistência de 1 ohm.

A energia gasta pela lâmpada ou por outro aparelho elétrico que produza calor, pode ser expressa pela fórmula:

$$\boxed{\mathcal{E} = P \times t} \quad \text{b)}$$

mas como 
$$P = \underbrace{E \times I}_{R \times I} \quad \text{e} \quad E = R \times I$$
$$P = R I^2$$

e a fórmula b) pode ser expressa também desta forma:

$$\begin{array}{ccccccc} \mathcal{E} & = & R & \times & I^2 & \times & t \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{JOULES} & & \Omega & & \text{A} & & \text{seg} \end{array} \quad \text{ou} \quad \begin{array}{ccccccc} \mathcal{E} & = & E & \times & I & \times & t \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{JOULES} & & \text{V} & & \text{A} & & \text{seg} \end{array}$$

Isto é:

A energia	é expressa em	JOULES
A resistência	é expressa em	OHMS
A corrente	é expressa em	AMPÈRES
O tempo	é expresso em	SEGUNDOS

Exemplo 2:

Qual a energia "dissipada" numa resistência de  $2 \Omega$ , durante 10 minutos, pela passagem de uma corrente de 5 A?

$$\mathcal{E} = R \cdot I^2 \cdot t \quad 10 \text{ min} = 600 \text{ seg}$$

$$\mathcal{E} = 2 \times 5^2 \times 600 \text{ seg} = 30.000 \text{ joules}$$

Mas no problema anterior perguntava-se:

"Qual a energia "DISSIPADA" ?

Dissipada? De que forma ???

Ah! Sob forma de



Então, esta pergunta fica plenamente respondida pela Lei de Joule que estabelece uma relação entre a energia gasta (aplicada ou consumida) e a quantidade de calor  $Q$  produzida, ou

$$Q = 0,24 \times \mathcal{E} \quad \text{c)}$$

onde:

$Q$  = quantidade de calor medida em calorias → cal

$\mathcal{E}$  = energia dissipada em joules.

Para o exemplo anterior, teríamos uma quantidade de calor igual a:

$$\begin{aligned} Q &= 0,24 \times \mathcal{E} \\ &= 0,24 \times 30.000 \\ Q &= 7.200 \text{ cal} \quad \text{ou} \quad 7.200 \text{ calorias} \end{aligned}$$

A fórmula c) também poderia ser escrita assim:

$$Q = 0,24 \times \underbrace{\mathcal{E}}_{R \times I^2 \times t}$$

$$Q = 0,24 \times R \times I^2 \times t$$

$\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$   
 cal       $\Omega$       A      seg

ou ainda assim:

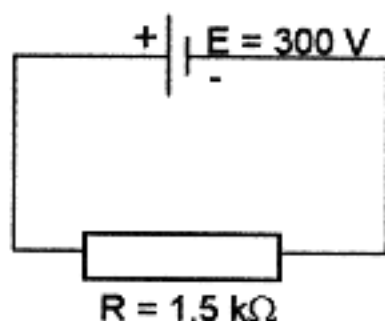
$$Q = 0,24 \times \underbrace{\mathcal{E}}_{E \times I \times t}$$

$$Q = 0,24 \times E \times I \times t \quad \text{d)}$$

$\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$        $\downarrow$   
 cal      V      A      seg

Exemplo 3:

OBS.: Este exemplo, solicitado na NORMA 31/94, usa a Lei de Joule relacionando a potência "dissipada" em um resistor com a (diferença de potencial) tensão aplicada e com a corrente fluindo no mesmo.



Qual a potência dissipada pelo resistor R ligado no circuito ao lado?

$$P = E \times I \quad \begin{array}{l} E = 300 \text{ V} \\ I = ? \end{array}$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{300 \text{ V}}{1.500 \Omega} = 0,2 \text{ A} \quad \leftarrow$$

logo,  $P = E \times I = 300 \text{ V} \times 0,2 \text{ A} = 60 \text{ watts} \quad \text{ou} \quad \underline{60 \text{ W}}$

Se quiséssemos saber o valor da energia aplicada ao resistor em 10 minutos, teríamos:

$$\varepsilon = E \times I \times t \text{ ou } P \times t$$

$$\varepsilon = 60 \text{ W} \times 10 \times 60 \text{ seg} = \underline{36.000 \text{ joules}}$$

O valor da quantidade de calor produzida nesse mesmo tempo, seria:

$$\begin{aligned} Q &= 0,24 \times \varepsilon \\ &= 0,24 \times 36.000 = \underline{8.640 \text{ cal}} \end{aligned}$$

### 3. RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA, RESISTIVIDADE, COMPRIMENTO E ÁREA DA SECÇÃO RETA DE UM CONDUTOR

Na lição nº 8 (da *primeira parte* deste curso), já vimos que a *resistência* de um condutor depende:

- do comprimento do condutor
- da secção ( $\rightarrow$ Área da secção reta) do condutor
- da natureza do condutor

ou, em outras palavras:

- quanto mais *comprido* for o condutor, maior será sua *resistência*;
- quanto *menor* for a *área* ou *secção reta* do condutor, *maior* será sua *resistência*;
- condutores de mesmo *comprimento* e de mesma *secção reta* só terão *resistência* igual se forem constituídos do mesmo material.

Todas estas palavras podem ser resumidas numa expressão matemática que estabelece a relação entre essas grandezas características do condutor em estudo, a qual é:  $R = \rho \times \frac{l}{s}$  1)

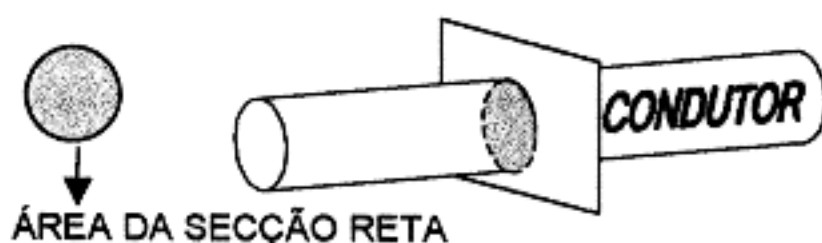
na qual  $R$  = resistência do condutor em *ohms*  $\rightarrow \Omega$

$l$  = comprimento do condutor em metros  $\rightarrow \underline{m}$

$s$  = área ou *secção reta* do condutor em milímetros quadrados  $\underline{mm^2}$

$\rho$  = resistência específica ou *resistividade* do material que constitui o condutor, expressa em  $\frac{\Omega \times mm^2}{m}$  OBS.:  $\rho$  (= letra grega rô)

Portanto, a fórmula 1) acima estabelece a relação entre a resistência do condutor, entre o comprimento e a área da secção reta do mesmo e entre a resistência específica ou resistividade do mesmo condutor.



A *área da secção reta* é a área do círculo determinado por uma secção ou corte perpendicular ao eixo do condutor.



A fórmula 1) acima mostra que:

- 1) A *resistência* de um condutor é diretamente proporcional ao comprimento do mesmo, isto é, quanto maior for o comprimento do condutor, maior será sua resistência.
- 2) A *resistência* de um condutor é inversamente proporcional à área da secção reta do mesmo, isto é, quanto menor for a área da secção reta do condutor, maior será sua resistência.
- 3) A *resistência* de um condutor é diretamente proporcional ao valor da resistividade do mesmo, isto é, quanto maior for a resistividade do condutor, maior será sua resistência.

**OBS.:** A resistividade é um fator específico para cada material; seu valor é tabelado em livros de Eletricidade e de Física.

Exemplo de aplicação da fórmula 1):

- Calcular o valor da *resistência* de um condutor de cobre cujas dimensões são:

COMPRIMENTO:  $\ell = 100 \text{ m}$   
ÁREA DA SECÇÃO RETA:  $s = 0,1 \text{ mm}^2$   
RESISTIVIDADE do cobre:  $\rho = 0,0172 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Entrando-se com esses valores na fórmula 1), teremos:

$$R = 0,0172 \times \frac{100}{0,1} = 17,2 \text{ } \Omega$$

#### 4. CORRENTE E TENSÃO EFETIVAS RELACIONADAS COM CORRENTE E TENSÃO DE PICO

No item nº 28 (da primeira parte destas noções) estudamos o que é uma *corrente alternada*, cuja representação gráfica é a de uma curva chamada *senóide* representada a seguir:



Fig. A

Também já estudamos nos itens 6 e 7 (da primeira parte) os conceitos de *corrente* e *tensão*, bem como suas unidades.

Portanto, quando se aplica uma *tensão* alternada a um circuito aparece uma *corrente* alternada.

Tanto a *tensão* quanto a *corrente* alternadas são representadas por curvas semelhantes à da Fig. A.

Note-se que ambas iniciam num valor zero, crescem até um valor máximo (*positivo*), depois decrescem até o valor zero e crescem novamente (*em valores*

negativos) até atingirem um valor máximo (negativo); depois decrescem novamente até zero.

A este trajeto simples damos o nome de ciclo completo.

As tensões de alimentação urbana geralmente são de 60 ciclos por segundo, isto é, a *tensão* e a *corrente* (numa lâmpada, por exemplo), descrevem 60 desses trajetos simples durante *1 segundo*.

Quando dizemos que a tensão de alimentação de um aparelho é de 220 V, por exemplo, este valor chama-se valor efetivo ou eficaz.

Este valor é menor do que o valor máximo ou *de pico*, e vale:

$$\text{TENSÃO EFICAZ} \rightarrow E_{ef} = \frac{E_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{max}}{1,41} = 0,707 \times E_{max}$$

(ou TENSÃO EFETIVA)

$$\text{CORRENTE EFICAZ} \rightarrow I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1,41} = 0,707 \times I_{max}$$

(ou CORRENTE EFETIVA)

Também são válidas as relações:

$$E_{max} = 1,41 \times E_{ef} \qquad E_{max} = \frac{E_{ef}}{0,707} \quad \text{ou}$$

$$I_{max} = 1,41 \times I_{ef} \qquad I_{max} = \frac{I_{ef}}{0,707}$$

Os valores de *pico a pico* correspondem ao valor *máximo* multiplicado por 2.

Assim temos:

$$\text{TENSÃO DE PICO A PICO} \rightarrow E_{pp}$$

$$E_{pp} = 2 \times E_{max} = 2 \times 1,41 \times E_{ef} = 2,82 \times E_{ef}$$

$$\text{CORRENTE DE PICO A PICO} \rightarrow I_{pp}$$

$$I_{pp} = 2 \times I_{max} = 2 \times 1,41 \times I_{ef} = 2,82 \times I_{ef}$$

## 5. CORRENTE GERADA EM UM SEMICONDUTOR SUJEITO A UMA TENSÃO

Estudo já feito no item 34 (da primeira parte destas noções).

## 6. FUNCIONAMENTO DO TRANSISTOR NO PAPEL DE UMA RESISTÊNCIA DE CONTROLE DE CORRENTE

No item 34 (da primeira parte destas noções) fizemos o estudo da união diodo-semicondutor.

Antes de entrarmos no estudo do funcionamento do transistor devemos recordar, da referida lição 34, que:

- Em um material tipo N:  
Elétrons são portadores majoritários  
Buracos são portadores minoritários
- e
- Em um material tipo P  
Buracos são portadores majoritários  
Elétrons são portadores minoritários

Recordemos também, da referida lição, que:

- Um diodo PN é constituído por materiais dos tipos P e N.
- A corrente flui quando o ânodo P está positivo em relação ao cátodo N, o que caracteriza a polarização direta.
- Quando o ânodo P está negativo em relação ao cátodo N ocorre o bloqueio que caracteriza a polarização inversa.

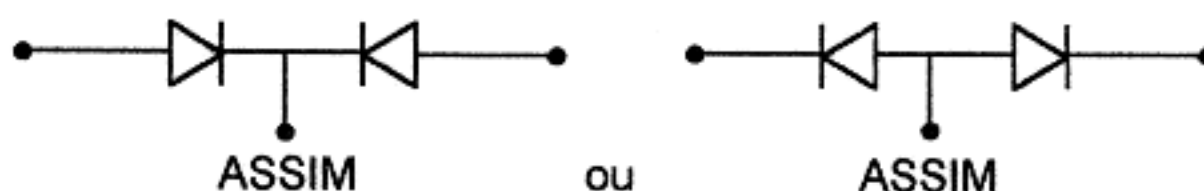
### CONCLUSÕES:

- A união PN é um elemento de alta resistência no sentido de polarização inversa.
- Essa mesma união PN é um elemento de baixa resistência no sentido de polarização direta.

Antes de estudarmos o funcionamento de um transistor, precisamos conhecer a:

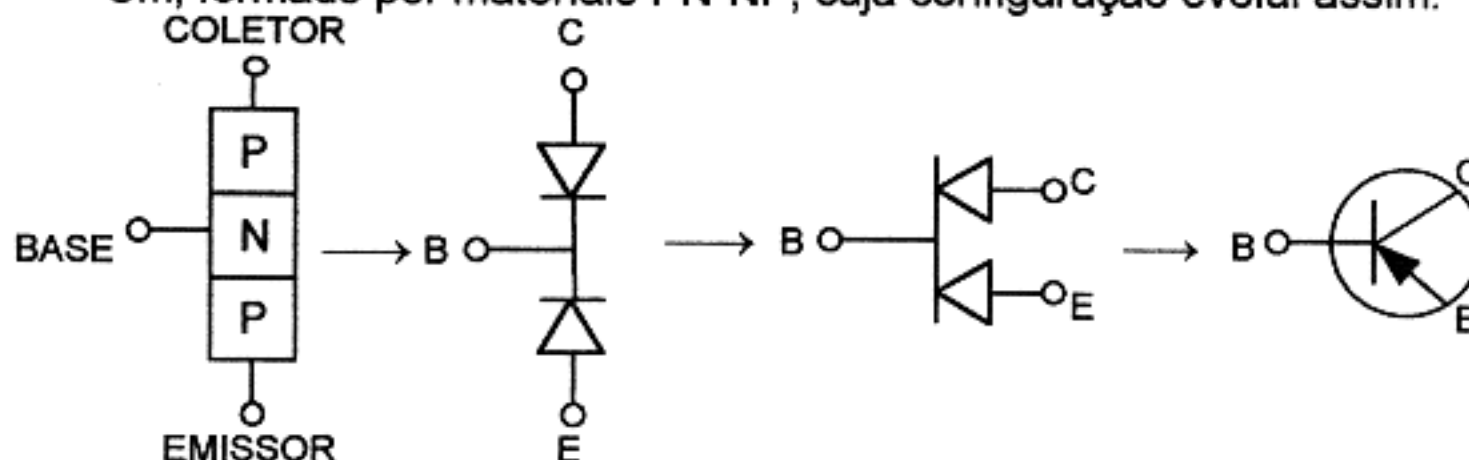
### ESTRUTURA DO TRANSISTOR.

Um transistor pode ser interpretado como dois diodos ligados em oposição.



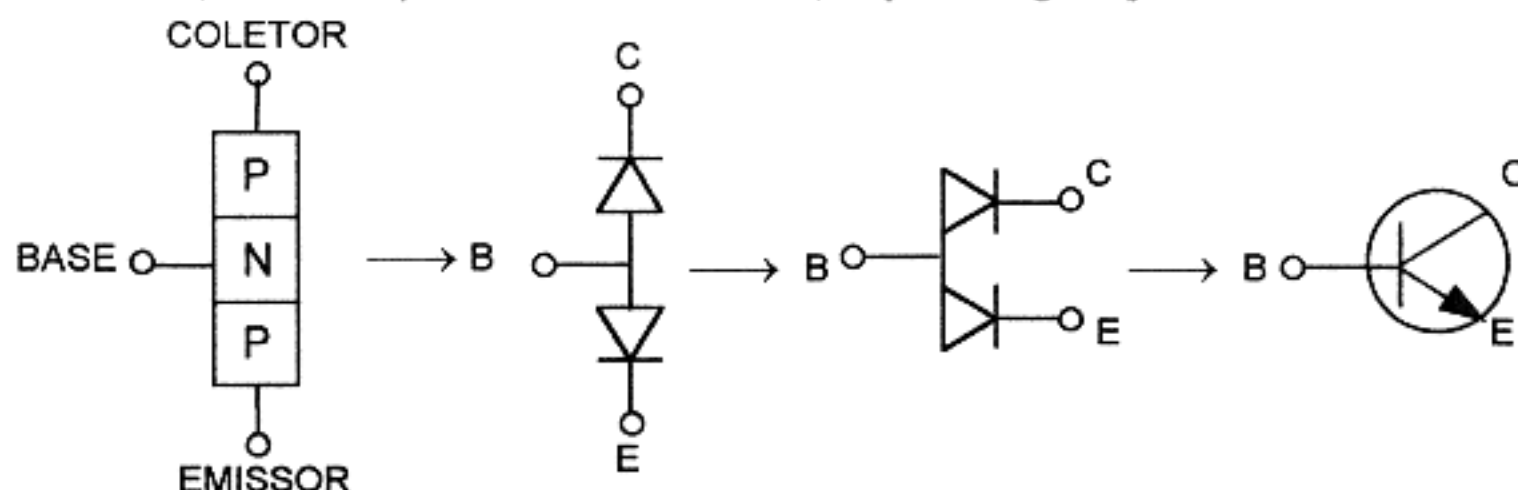
Partindo-se dessa disposição, podemos concluir que é possível construir dois tipos de transistores:

- Um, formado por materiais PN-NP, cuja configuração evolui assim:



e é designado como **PNP**

- Outro, formado por materiais NP-PN, cuja configuração evolui assim:



e é designado como **NPN**

Os transistores do tipo **PNP** usam um fino cristal tipo **N** no meio de dois cristais tipo **P** e os de tipo **NPN**, ao contrário, usam dois cristais tipo **N**, intercalados com um cristal tipo **P**.

Assim, o que já se estudou sobre diodos de junção deve-se aplicar aos transistores.

OBS.: A maioria dos transistores atualmente fabricados é do tipo NPN, quase todos de silício.

É importante frisar que, semelhante aos diodos, existe em cada junção do transistor, uma barreira de potencial. Essas barreiras conservam as lacunas (ou buracos) e os elétrons confinados respectivamente aos semicondutores do tipo **P** e do tipo **N**.

Ambos os tipos possuem três terminais, os quais estão ligados aos elementos do transistor.

Estes terminais são chamados de emissor, base e coletor, sendo designados em esquemas e diagramas com as letras:

e — EMISSOR

b — BASE

c — COLETOR

A seguir, vamos estudar

### COMO FUNCIONA O TRANSISTOR

no papel de uma resistência de controle de corrente.

Primeiramente, explicaremos o funcionamento de um transistor NPN, cujo trabalho se assemelha ao da válvula triodo que você já estudou no item 33 deste curso.

Nas explicações anteriores, é importante observar que o funcionamento do triodo é controlado pela tensão do sinal aplicado à sua entrada, não havendo circulação de corrente de grade, sob condições normais de funcionamento.

O trabalho do transistor, no entanto, depende da circulação de corrente do sinal através do circuito de entrada.



Portanto,

**O transistor é, essencialmente, um dispositivo de controle de corrente.**

Observe que no circuito do triodo (item 33 deste curso), os elétrons vão, desde o cátodo (negativo), através do campo elétrico negativo de retardo da grade, até à placa positiva, e, através do circuito exterior, retornam ao cátodo.

O fluxo de elétrons através do circuito exterior poderá ser *aumentado* tornando-se a grade menos negativa; reduzindo, portanto, a eficiência da grade para retardar o fluxo de elétrons do cátodo para a placa.

Do mesmo modo, o fluxo de elétrons através do circuito exterior poderá ser *reduzido*, tornando-se a grade mais negativa; aumentando, assim, a eficiência da grade para retardar o fluxo de elétrons do cátodo para a placa.

Como uma pequena variação na *tensão* da grade causa grande variação na corrente de placa, consegue-se amplificação. Como a corrente de placa se faz circular através de um resistor de placa de elevado valor, a variação da corrente de placa causa grande variação na queda de tensão através do resistor de placa.

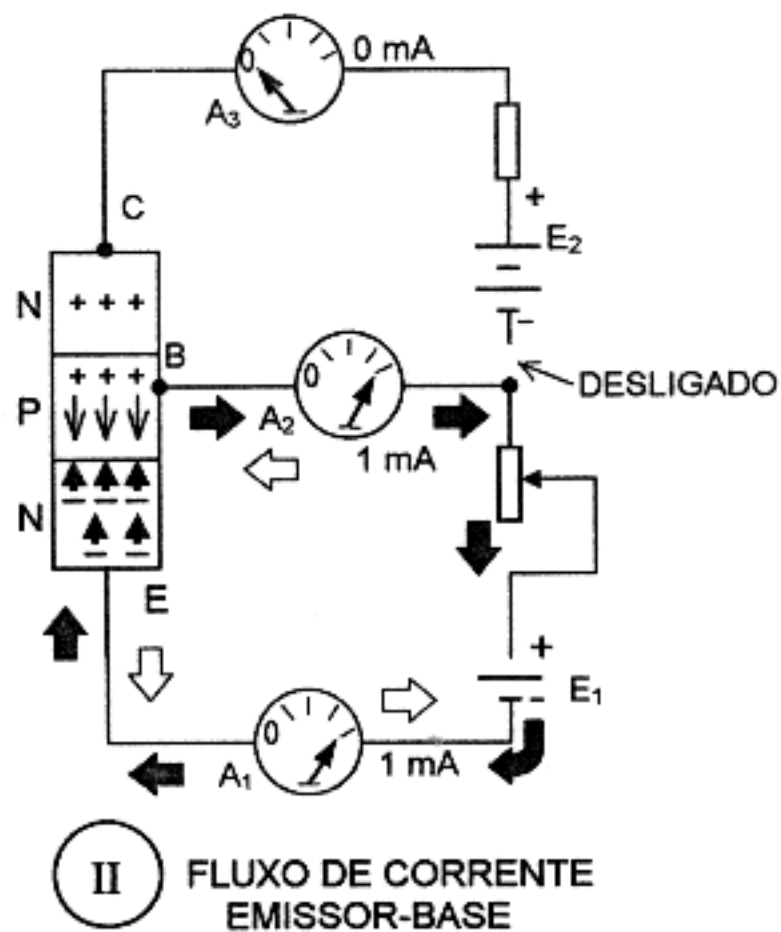
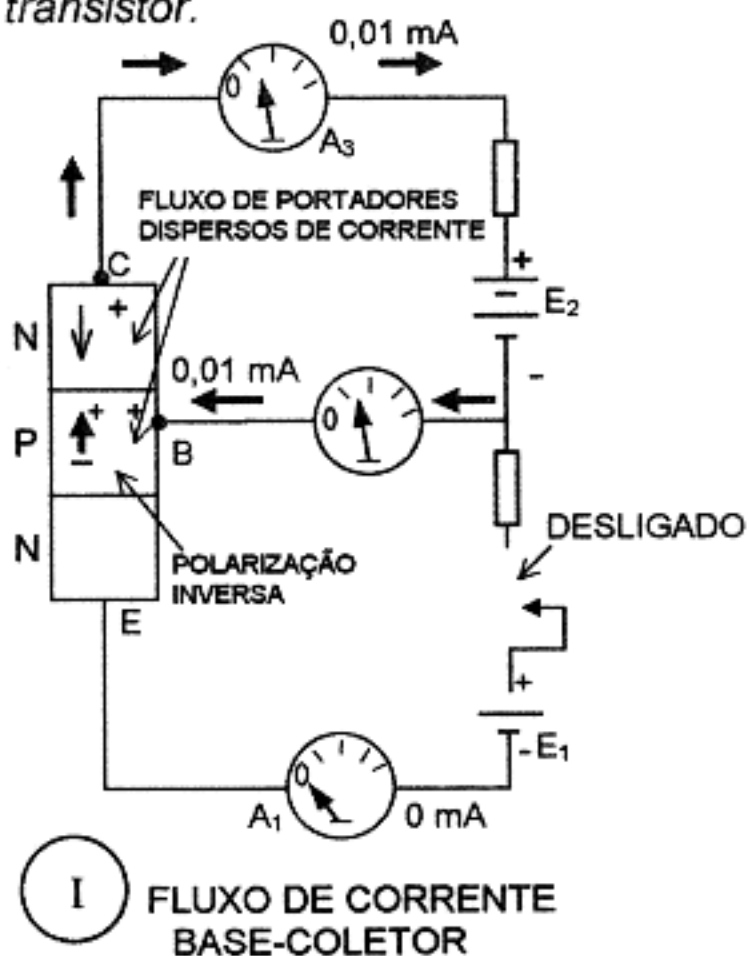
Assim, pequena variação na tensão de grade, ocasiona variação muito maior na tensão de placa e, como resultado, há amplificação do sinal.

Mas a amplificação também pode ser obtida, fazendo passar a corrente de placa através de um transformador elevador. Neste caso, grande variação de corrente de placa poderá ser utilizada para produzir grande tensão de sinal nos terminais do secundário do referido transformador.

A polarização de grade de um amplificador de potência com válvula é tal, que o sinal de entrada pode tornar a grade *positiva* durante parte do ciclo do sinal. Como a grade *positiva* atrai elétrons, há circulação de elétrons no circuito de grade; e se consome potência da fonte que fornece o sinal.

Este circuito denomina-se *amplificador de potência* porque um pequeno aumento da potência de entrada poderá ser empregado para *controlar* grande quantidade de potência de saída.

Esta classe de funcionamento de válvula é aquela mais parecida ao do *transistor*.



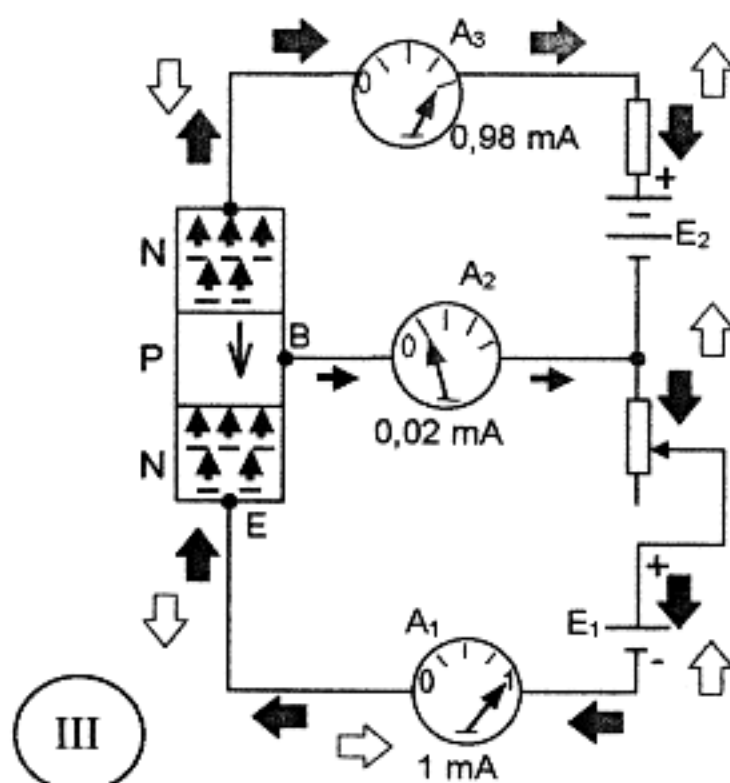
- ← FLUXO ELETRÔNICO DÉBIL
- ⇐ FLUXO DÉBIL DE BURACOS
- ➡ FLUXO ELETRÔNICO INTENSO
- ⇨ FLUXO INTENSO DE BURACOS

Iniciando a análise do funcionamento do transistor NPN, examine o que ocorre quando está aberto o resistor variável que liga o emissor e a base. (Fig. I). Neste caso, só se aplica ao transistor uma tensão entre o coletor e a base. Observe que a polaridade da tensão através da junção P-N, entre a base e o coletor, nos mostra condições já familiares. Estas condições são idênticas àquelas de um diodo semicondutor polarizado em *sentido inverso*. O terminal positivo da fonte de tensão atrai os elétrons carregados negativamente do coletor tipo N e o terminal negativo da fonte de tensão atrai buracos (ou lacunas) carregadas positivamente da base tipo P. Nenhum destes portadores de corrente pode combinar-se na junção, como ocorre no caso de polarização direta do diodo semicondutor. O resultado é que a única circulação de corrente é causada pelos buracos dispersos do coletor e pelos elétrons dispersos da base, como no caso do diodo semicondutor polarizado inversamente. Nestas condições, a corrente indicada pelos medidores  $A_2$  e  $A_3$  será muito débil - 0,01 mA, por exemplo.

Examine, agora, o que ocorre (fig.II) quando se desliga a fonte  $E_2$  e o resistor variável é ajustado na posição de máxima resistência. Desta forma, o emissor e a base estão ligados como um diodo semicondutor polarizado em sentido direto. Os elétrons do emissor e os buracos (lacunas) da base são atraídos para a junção, onde se combinam, para constituir apreciável fluxo de corrente.

Por exemplo:

- Com o resistor variável na posição de máxima resistência, os medidores  $A_1$  e  $A_2$  indicarão 0,1 miliampère.
- Ajustando-se o resistor variável para a posição de mínima resistência, a corrente que circula através de  $A_1$  e  $A_2$  poderá aumentar até 1 mA.



III  
FLUXO DE CORRENTE NO CIRCUITO COMPLETO

Quando ambas as fontes de tensão são ligadas simultaneamente, as condições variam acentuadamente. (Fig. III ao lado).

Se o resistor variável está ajustado para que  $A_1$  assinale 1mA,  $A_3$  indicará aproximadamente 0,98 mA e  $A_2$  indicará, aproximadamente, 0,02 mA.

Não houve aumento de tensão aplicada entre a base e o coletor.

Sem circulação de corrente no circuito emissor-base,  $A_3$  indica 0,01 mA. No entanto, circulando corrente neste circuito, a corrente através de  $A_3$  é quase a mesma que circula através de  $A_1$ .

Esta nova condição pode ser explicada examinando-se as condições elétricas na região da base. Em virtude da polarização direta entre o emissor e a base, há grande quantidade de elétrons livres nessa região.

Como a base é bastante delgada, possuindo alguns centésimos de mm de espessura, os elétrons penetram através de sua estrutura ficando sob a influência do coletor, carregado positivamente, antes que possam se combinar com as lacunas da base. Uma vez que os elétrons estão no coletor, dirigem-se rapidamente para o terminal positivo de  $E_2$ , prosseguindo através do circuito exterior.

Como pequena porção de elétrons do emissor se combina com os buracos (lacunas) na base, há uma pequena corrente da base ao emissor. Se a base tivesse maior espessura, quase todos os elétrons do emissor se combinariam com as lacunas da base, resultando intensa corrente da base ao emissor e pequena corrente da base ao coletor. A regra geral é que os elétrons do emissor se dividem nos dois fluxos de corrente assinalados e as proporções da divisão estão determinadas essencialmente pela espessura da base e pela tensão entre base e coletor.

Como vimos, a corrente nos circuitos de entrada e de saída era quase a mesma. No entanto, a *resistência da entrada* difere grandemente da *resistência na saída*. A polarização entre emissor e base (entrada) é de sentido *direto* dando a esta junção (emissor-base) uma *baixa resistência* - geralmente da ordem de 40 a 800 ohms.

Por outro lado, a polarização entre base e coletor (saída) é de sentido *inverso*, resultando *alta resistência* na junção entre os mesmos - geralmente de 100.000 ohms até 1 megohm.

Pelo exposto, verifica-se que o transistor comporta-se como se fosse uma *resistência controladora de corrente*.

## 7. FUNCIONAMENTO DO TRANSISTOR EM UM CIRCUITO SIMPLES DE AMPLIFICAÇÃO DE SINAL

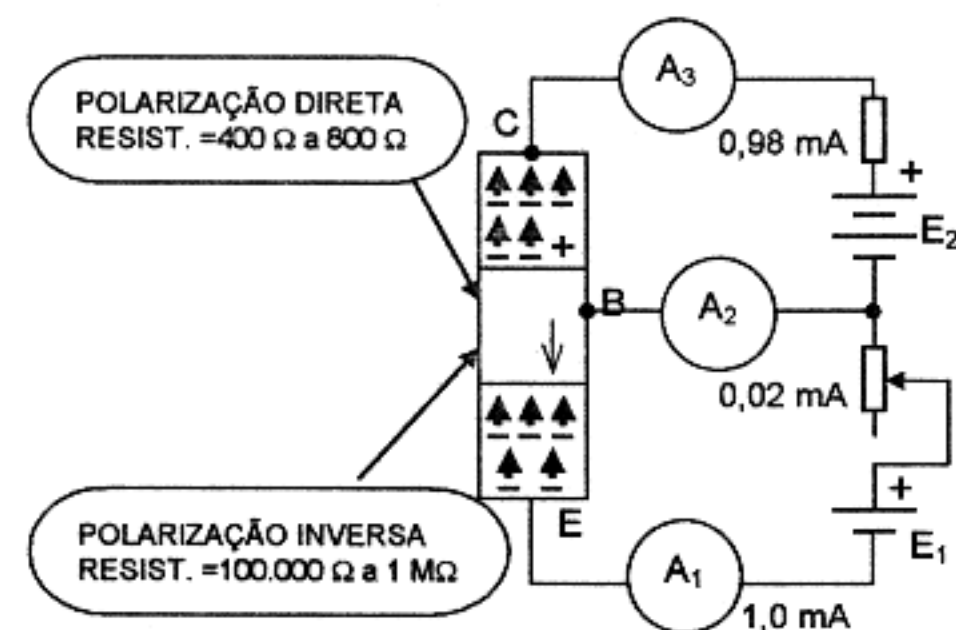


Fig. A

Pelo que foi estudado no item anterior parece não haver vantagem no funcionamento do transistor ligado da maneira apresentada, pois, como vimos, é preciso uma variação de corrente de 1 mA no circuito de entrada (do emissor à base), para produzir uma variação de corrente de 0,97 mA (= 0,98 - 0,01) no circuito de saída (do coletor à base).

Note que a corrente de 0,01 mA (vide fig. I da lição anterior) é o *fluxo de portadores dispersos*.

Na realidade, devemos considerar o termo ganho de corrente ou  $\alpha$  (*alfa*) aplicado a esta condição.

O ganho de corrente  $\alpha$  ( $\rightarrow$ alfa) se define como:



A variação da corrente de saída dividida pela variação da corrente de entrada

ou

$$\alpha = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} \quad (A) \quad \Delta \text{ (=letra grega "delta") significando "variação"}$$

Neste caso, o ganho de corrente é

$$\alpha = \frac{0,98 \text{ mA} - 0,01 \text{ mA}}{1 \text{ mA}} = \frac{0,97}{1 \text{ mA}} = 0,97$$

Para transistores de junção em geral,  $\alpha$  (alfa) tem valores compreendidos entre 0,95 e 0,99; o ganho de corrente  $\alpha$  é sempre menor do que 1.

Embora não haja amplificação útil de corrente por este método de ligar um transistor, produz-se um eficiente ganho de tensão e de potência, o que corresponde a uma amplificação de sinal.

A figura A enfatiza que (repetindo-se) a polarização emissor-base (da entrada) é de sentido direto, dando a esta junção uma baixa resistência.

Vimos também que a polarização base-coletor (da saída) é de sentido INVERSO dando a esta junção uma alta resistência.

Segundo a lei de Ohm, a tensão desenvolvida através de uma resistência é igual ao produto corrente x resistência ou  $E = I \times R$ .

Também já estudamos que a potência é igual ao produto resistência x corrente (ao quadrado) ou  $P = R I^2$ .

Como as correntes que circulam nos circuitos de entrada e de saída são quase iguais e a resistência do circuito de saída é da ordem de mil vezes mais alta que a resistência do circuito de entrada, pode-se observar que terão sido obtidos ganhos de tensão e de potência da ordem de mil vezes.

Um simples cálculo matemático indica claramente como se produzem os ganhos de tensão e de potência, revelando, também, algumas relações úteis e expressões fundamentais, tais como:

$$\text{GANHO DE TENSÃO} = \frac{\text{TENSÃO DE SAÍDA}}{\text{TENSÃO DE ENTRADA}}$$

(como TENSÃO = CORRENTE x RESISTÊNCIA)

$$\text{GANHO DE TENSÃO} = \frac{I_{\text{saída}} \times R_{\text{saída}}}{I_{\text{entrada}} \times R_{\text{entrada}}}$$

(mas como  $\frac{I_{\text{saída}}}{I_{\text{entrada}}} = \alpha$ )

GANHO DE CORRENTE

temos finalmente,

$$\text{GANHO DE TENSÃO} = \alpha \times \frac{R_{\text{saída}}}{R_{\text{entrada}}} \quad (B)$$

Exemplo:

Para um transistor típico,  $\alpha = 0,98$

$$R_{\text{saída}} = 500.000 \ \Omega$$

$$R_{\text{entrada}} = 250 \ \Omega$$

$$\text{GANHO DE TENSÃO} = 0,98 \times \frac{500.000}{250} = \mathbf{1.960 \text{ vezes}}$$

Este ganho não é obtido por qualquer amplificação de corrente. Ao contrário, ele é devido exclusivamente à alta resistência do circuito de *saída* comparada com a baixa resistência do circuito de *entrada*.

A amplificação se verifica porque o dispositivo semiconductor *transferiu* uma *corrente*, quase sem perda alguma, de um circuito de baixa resistência a outro de alta resistência.

Esta transferência através de uma resistência é a razão da unidade ser conhecida, em inglês como transfer resistor ou transistor.

Um cálculo matemático semelhante demonstra como se obtém ganho de potência mediante o transistor.

O ganho de potência em um dispositivo amplificador vale:

$$\begin{aligned} \text{GANHO DE POTÊNCIA} &= \frac{\text{POTÊNCIA DE SAÍDA}}{\text{POTÊNCIA DE ENTRADA}} \\ &= \frac{I_{\text{saída}}^2 \times R_{\text{saída}}}{I_{\text{entrada}}^2 \times R_{\text{entrada}}} \end{aligned}$$

como 
$$\frac{I_{\text{saída}}}{I_{\text{entrada}}} = \alpha \rightarrow \frac{I_{\text{saída}}^2}{I_{\text{entrada}}^2} = \alpha^2$$

e, finalmente,

$$\boxed{\text{GANHO DE POTÊNCIA} = \alpha^2 \times \frac{R_{\text{saída}}}{R_{\text{entrada}}}} \quad (\text{C})$$

Exemplo:

Para o mesmo transistor do cálculo anterior e suas resistências de entrada e de saída, teremos:

$$\text{GANHO DE POTÊNCIA} = (0,98)^2 \times \frac{500.000}{250} = \mathbf{1.920,8 \text{ vezes}}$$

OBSERVAÇÃO:

- Como a relação entre a resistência de saída e a resistência de entrada ( $R_s/R_e$ ) se usa freqüentemente nos cálculos de tensão e de potência, esta relação toma o nome de ganho de resistência  $\rightarrow R_g$ .

Para transistores de junção, o ganho de resistência  $R_g$  está compreendido entre 500 e 5.000 vezes.

Da fórmula (B), desta lição:

$$\text{GANHO DE TENSÃO} = \alpha \times \frac{R_{\text{saída}}}{R_{\text{entrada}}} \quad \text{como} \quad \frac{R_{\text{saída}}}{R_{\text{entrada}}} =$$

teremos também:

$$\boxed{\text{GANHO DE TENSÃO} = \alpha \times R_g} \quad (\text{D})$$

Da fórmula (C) desta lição:

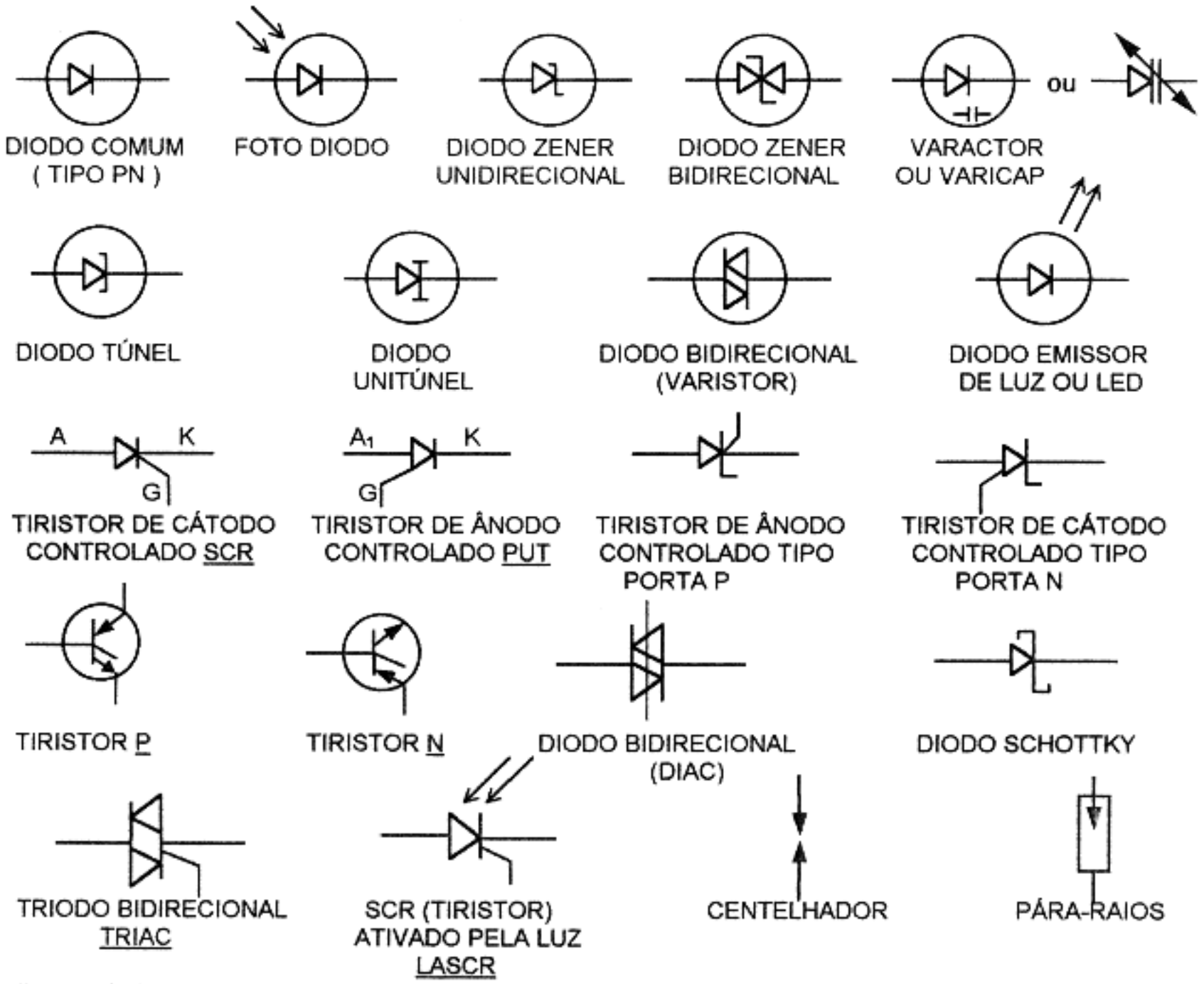
$$\text{GANHO DE POTÊNCIA} = \alpha^2 \times \frac{R_{\text{saída}}}{R_{\text{entrada}}} \quad \text{como} \quad \frac{R_s}{R_e} = R_g$$

também teremos:

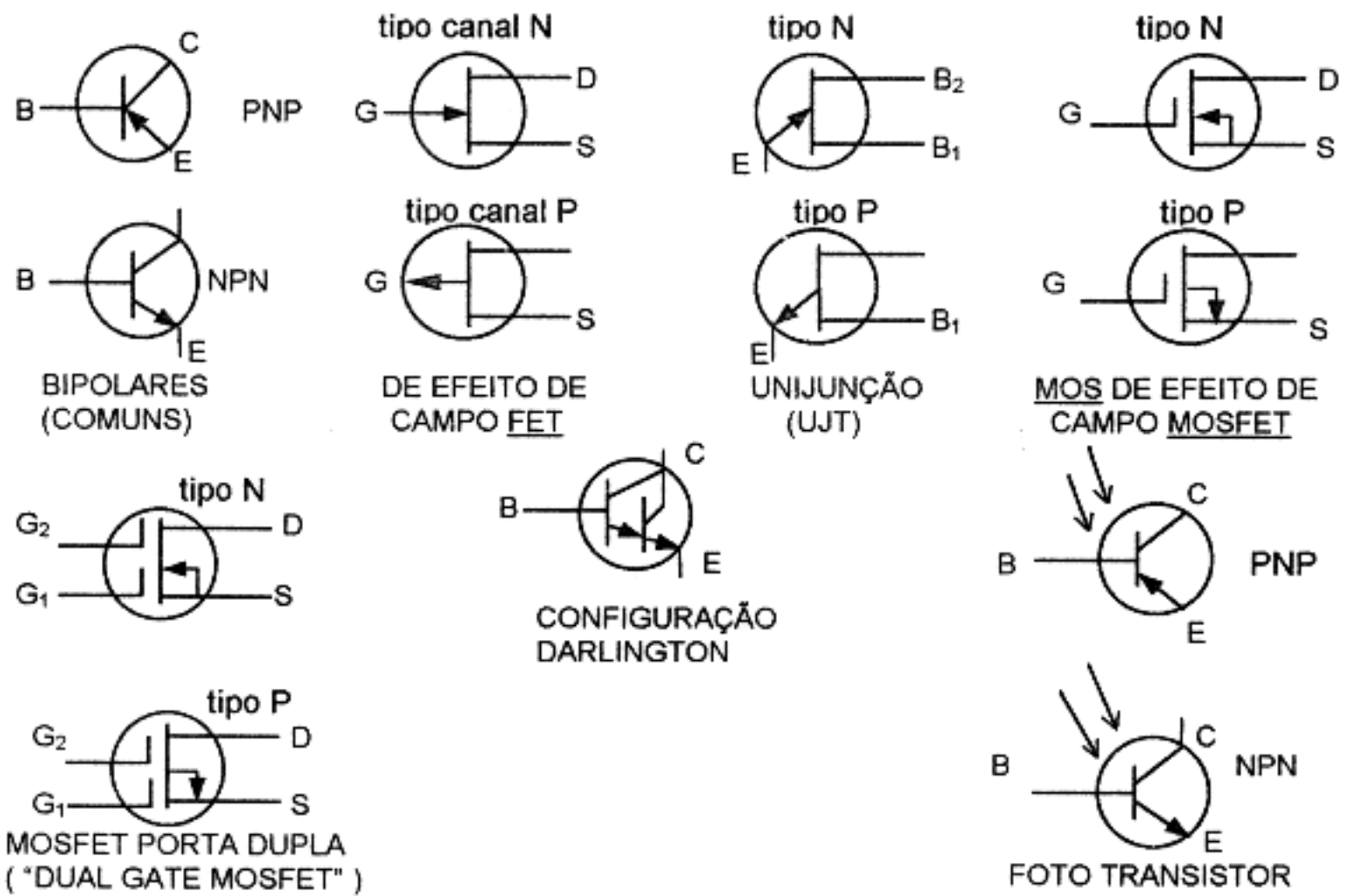
$$\boxed{\text{GANHO DE POTÊNCIA} = \alpha^2 \times R_g} \quad (\text{E})$$



# 8. SÍMBOLOS DOS PRINCIPAIS SEMICONDUTORES



## TRANSISTORES



## 9. CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DE UMA ANTENA DIPOLO E DE UMA ANTENA VERTICAL DE ¼ DE ONDA

### DESCRIÇÃO E FUNCIONAMENTO:

- Esta matéria já foi amplamente abordada na lição nº 40 (da primeira parte) destas noções.

## 10. IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA DE POLARIZAÇÃO DOS TIPOS DE ANTENAS MAIS USADOS

A polarização de uma onda eletromagnética é definida como a *direção do campo elétrico*.

Diz-se que a polarização é vertical ou que a onda está polarizada *verticalmente*, quando o plano do *campo elétrico* é perpendicular à superfície terrestre.

Ao contrário, se o plano desse *campo* é paralelo à superfície terrestre, a onda estará polarizada horizontalmente. Em consequência, a *polarização* de uma antena de *meia onda* (meio comprimento de onda), por exemplo, é dada pela *posição* do irradiante em relação à terra.

Portanto, uma antena *vertical* emitirá ondas polarizadas *verticalmente* enquanto uma antena *horizontal* irradiará ondas polarizadas *horizontalmente*.

NOTA: - Um *vetor* é um segmento de reta *orientado* e representa-se por:



O vetor representado acima está na *direção horizontal*. Seu *sentido* é da esquerda para a direita e seu comprimento representa sua *grandeza* ou *intensidade*.

Se, durante as variações *cíclicas* da onda, a *ponta* do vetor representativo da *grandeza* e *direção* do campo elétrico descrever uma *linha reta* em um plano perpendicular à direção da propagação da onda, a polarização é linear.

Em geral, o vetor *campo elétrico* gira 360° no plano perpendicular à direção de propagação de cada comprimento de onda descrito, fazendo a *ponta* do vetor *campo elétrico* descrever uma *elipse*, obtendo-se então uma polarização elíptica.

Uma onda polarizada *elípticamente* pode ser decomposta (analisada) em *duas* ortogonais *linearmente* polarizadas, ondas componentes de dada *amplitude* e *fase*.

Por exemplo, na polarização circular, as amplitudes das ondas componentes são *iguais* e a *diferença de fase* é de 90°. Também podemos dizer que, para a polarização *linear*, ou a amplitude de uma das ondas componentes é zero ou a *diferença de fase* entre elas é algum múltiplo de 180°.

Então, as polarizações linear e circular podem ambas ser consideradas como casos especiais de polarização elíptica.

- A *polarização* de uma antena não é um fator muito importante em frequências inferiores a 30 MHz, quando se utiliza como meio de propagação a *onda ionosférica*. Sem dúvida, em frequências iguais ou maiores do que 50 MHz, a *polarização* desempenha um *papel importante*. Com efeito, em HF (frequências *altas* → 3 MHz a 30 MHz), quando a maioria dos comunicados são realizados utilizando a *onda ionosférica* com uma ou várias reflexões nas camadas ionizadas, a *polarização* do sinal transmitido carece de *importância*, já que, ao refletir-se naquele *espelho radioelétrico*, a onda muda sua *polarização* e o sinal que chega na antena já não mais está polarizado em forma *linear* mas sim em forma *elíptica* ou *circular*.

Ao contrário, em VHF (frequências muito elevadas → 30 MHz a 300 MHz), grande parte dos comunicados se realizam dentro do *horizonte óptico* (= uma antena enxerga a outra), havendo intervenção da onda ionosférica apenas em *poucas oportunidades*, resultando a *polarização* das antenas *transmissora* e *receptora*, como um fator de grande importância.

Atualmente, muitos radioamadores preferem a *polarização horizontal*, mormente nas bandas de VHF e UHF.

Portanto, o fato de se instalar a antena em posição *horizontal* ou *vertical*, merece consideração especial em relação a outros fatores.

Uma antena *vertical* de  $\frac{1}{2}$  ONDA ou de  $\frac{1}{4}$  de onda, irradiará *uniformemente em todos os sentidos* na horizontal, portanto essas antenas não são *diretivas* (direcionais) no sentido restrito da palavra.

Por outro lado, quando se instala uma dessas antenas *horizontalmente*, a antena produz efeitos *diretivos* e irradiará melhor em sentido formando ângulos retos ou laterais, com respeito ao condutor (irradiante). Neste caso, a irradiação será **MÍNIMA** na direção à qual aponta o condutor (sua direção longitudinal).

O ângulo vertical de irradiação também será afetado pela posição da antena. Não fosse a presença da terra, no que tange às perdas em altas frequências, a *antena vertical* seria preferível, devido à *concentração horizontal* da irradiação.

Outra vantagem do uso de antenas de *polarização vertical*, especialmente nas frequências de 1,8 MHz, 3,5 MHz e 7 MHz, é que as condições de comunicação *local* melhoram durante as horas da noite. Com efeito, os sinais de *polarização vertical* são *menos prejudicados* pela influência do *desvanecimento* ou "*fading*".

**ATENÇÃO:** Nesta lição nº 10 já estão incluídos os conceitos de *polarização linear*, *circular* e *elíptica* que constituem um título em separado no programa de Radioeletricidade para a classe "A".

## 11. USO DOS SATÉLITES ARTIFICIAIS EM TELECOMUNICAÇÕES

TERMINOLOGIA - Primeiramente apresentamos os principais termos e siglas usados durante a exposição do tema proposto, os quais são os seguintes:

ACCESS RANGE - Vide *Acquisition Distance* - (*Distância de aquisição*).

ACQUISITION CIRCLE - (*Círculo de aquisição*) - Trata-se de um traçado ao redor de uma estação e destinado a um satélite específico. Quando o ponto de *subsatélite* está dentro desse círculo, o satélite encontra-se ao alcance do operador. Vide *Subsatellite Path* e *Subsatellite Point (SSP)*.

ACQUISITION DISTANCE - (*Distância de aquisição*) - É a máxima distância entre o ponto de subsatélite e a estação terrena na qual é possível acessar a aeronave.

ALLIGATOR - (*Jacaré*) - É o termo que se usa para identificar uma estação com potência excessivamente grande e de recepção pobre. (N.T.: Em nosso meio, *jacaré* identifica *boca grande e ouvidos pequenos*).

ALTITUDE - É a distância que existe entre um satélite e um ponto na Terra diretamente abaixo dele. Sinônimo de *altura*.

AMSAT - Uma marca registrada da Radio Amateur Satellite Corporation; uma organização científica/educacional não lucrativa localizada em Washington. Ela constrói e opera Satélites de Radioamadores e tem apadrinhado o programa OSCAR desde o lançamento do OSCAR 5. Também conhecida como AMSAT-NA. (AMSAT, P.O. BOX 27, Washington, DC 20044).

ANOMALISTIC PERIOD - (*Período anômalo* e ou *anomalístico*) - O período decorrido entre dois perigeus sucessivos de um satélite.

AO # - Designador usado para um engenho espacial OSCAR AMSAT em voo, seguido pelo (#) número de seqüência.

AOS - *Acquisition Of Signal* - (*Obtenção de sinal*) - O tempo no qual sinais de rádio de um satélite começam a ser ouvidos; usualmente logo após ele elevar-se acima do horizonte.

APOGEE - (*Apogeu*) - O ponto de uma órbita de satélite segundo o qual ele está mais distante do centro da terra.

AREA COORDINATORS - (*Coordenadores de área*) - Um corpo de voluntários AMSAT que organiza e coordena atividade de uso do satélite amador no seu estado, município, região ou país. Esta é a organização de base destinada a assistir todos os usuários correntes e prováveis do OSCAR.

ARRL - *American Radio Relay League* - Organização de radioamadores dos Estados Unidos da América do Norte à qual pertence um significativo número deles. O endereço é 225 Main Street, Newington, CT 06111, USA.

ARGUMENT OF PERIGEE - (*Argumento do perigeu*) - O ângulo polar que localiza o ponto de perigeu de um satélite no plano orbital; traçado entre o nóculo ascendente, o geocentro e o perigeu; é medido desde o nóculo ascendente na direção do deslocamento do satélite.

ASCENDING NODE - (*Nó ascendente*) - O ponto na rota terrestre referente à órbita do satélite, onde o ponto subsatélite (SSP) cruza o equador desde o hemisfério Sul em direção ao hemisfério Norte.

ASCENDING PASS - (*Passagem ascendente*) - É a passagem de um satélite, referente a uma estação terrena, durante a qual ele se desloca para o norte permanecendo em alcance.

ATV - *Amateur TV* - Meio de comunicação visual em UHF, com largura de faixa igual a de televisão. Pode operar em linha de visibilidade ou através de repetidora ATV.

AU - *Astronomical Unit* - Unidade astronômica. É a distância média entre o Sol e a Terra a qual vale  $1,49 \times 10^{11}$  m.

AUTOTRANSponder - (*Auto transpondedor*) - Aparelho computadorizado, a bordo de uma aeronave (ou satélite), destinado a receber e contestar os sinais ascendentes (*uplink*) recebidos. Alguns satélites russos possuem autoranspondedores denominados *Robots*. Vide *uplink*.



- Az - E<sub>L</sub> MOUNT** - Um sistema de antena que permite seu posicionamento tanto no azimute como em planos de elevação.
- AZIMUTH** - (*Azimute*) - Ângulo, no plano horizontal, medido em sentido do deslocamento dos ponteiros do relógio, com referência ao Norte = 0°, E (Este) = 90°, S (Sul) = 180° e O (Oeste) = 270°.
- BAHN LATITUDE AND LONGITUDE** - (ALAT e ALON) - Latitude e longitude de BAHN; são ângulos que descrevem a orientação de um satélite de Fase 3 no seu plano orbital. Quando a latitude de Bahn e de 0 (zero graus) e a correspondente longitude é de 180°, as antenas direcionais do OSCAR 13, em apogeu, estão orientadas em forma direta ao SSP.
- BCR** - *Battery Charge Regulator* - *Regulador da carga da bateria*. Unidade de controle eletrônico instalado no satélite entre as células solares ou fotovoltaicas e a(s) bateria(s).
- BIRD** - (PÁSSARO) - Designação inicial para dar nome a um satélite.
- BRAM SAT** - AMSAT do Brasil.
- BOL** - *Begining Of Life* - (*Início de vida*) - Abreviatura que se aplica ao parâmetro de um satélite que muda através do tempo. Exemplo: a eficiência das células solares ou fotovoltaicas.
- BORESIGHT** - A direção de máximo ganho de uma antena do satélite. Refere-se também ao ponto, na Terra, em que essa antena produz o nível máximo de sinal. *Ver footprint*.
- CIRCULAR POLARIZATION (CP)** - (*Polarização circular*) - Um caso especial de emissão de energia de rádio onde os vetores dos campos elétrico e magnético giram ao redor do eixo de radiação. Como visto para o caso da trajetória de radiação, as direções da rotação são consideradas para a direita (RHCP → Polarização circular para a direita) se a rotação é no sentido horário, e, para a esquerda, (LHCP → Polarização circular para a esquerda), se a rotação é no sentido anti-horário.  
*Outra definição (já vista anteriormente):* - Polarização cujos componentes horizontal e vertical são de igual valor. Pode ser para a direita e para a esquerda.
- CLASSICAL ORBITAL ELEMENTS** - (Elementos orbitais clássicos) - Trata-se de um grupo desses elementos que incluem hora de época especificada em perigeu, ascensão direita do nó ascendente (RAAN), inclinação, excentricidade, argumento de perigeu e período. Devido a que esses parâmetros se referem à Terra e se baseiam em propriedades geométricas, são especialmente úteis para visualizar uma órbita em forma intuitiva. *Ver epoch (época) e RAAN*.
- CODESTORE** - (*Armazenador de códigos*) - Sistema de memória digital que se usava nas aeronaves (ou satélites) da AMSAT e que podia ser carregado, por estações terrenas, com dados para serem retransmitidos, após, em Morse ou outros códigos.
- COVERAGE CIRCLE** - (*Círculo de cobertura*) - Respeito a uma estação terrena, se trata da região da Terra que é eventualmente acessível para fazer comunicados por satélite. Referente a um satélite, em particular, é a região ao redor do SSP instantâneo que está a vista do satélite.
- DBS** - *Direct Broadcast Satellite* - Satélite comercial destinado a transmitir programas de TV diretamente ao domicílio. Serviço de um satélite doméstico cujos sinais podem ser captados diretamente pelo usuário. Atualmente, os serviços de DBS estão se popularizando nos Estados Unidos da América do Norte. Esses serviços permitem receber TV, em forma direta, 175 canais, com uma antena parabólica de 70 cm de diâmetro e com receptor especial.
- DECAY RATE** - (*Ritmo ou taxa de queda*) - Mudança de movimento médio. Parâmetro com que se especifica a forma em que a resistência oferecida pela atmosfera afeta o deslocamento de um satélite.
- DELAY TIME** - (*Tempo de retardo ou demora*) - É o tempo transcorrido entre o instante em que um sinal ingressa no transpondedor (*transponder*) e o momento em que sai. Quando essa expressão se aplica à *passagem*, se refere ao tempo que transcorre entre a transmissão ou ascensão (*uplink*) de um sinal e o instante em que se recebe (*downlink*).
- DESCENDING NODE** - (*Nó descendente*) - O ponto, na rota terrestre, referente à órbita do satélite onde o ponto subsatélite (SSP) cruza o equador desde o hemisfério Norte, em direção ao hemisfério Sul.
- DESCENDING PASS** - (*Passagem descendente*) - Passagem de um satélite, referente a uma estação terrena, durante a qual ele se dirige ao Sul, estando ao alcance do usuário terrestre.
- DESENSE** - (*Insensível*) - Um problema característico de muitos receptores de rádio nos quais um forte sinal de RF sobrecarrega o receptor, reduzindo a sensibilidade.

**DIGITAL TRANSPONDER** - (*Transpondedor digital*) - Dispositivo que recebe um sinal digital, demodula-o e após o retransmite de forma digital. O sinal pode estar na mesma frequência ou em outra diferente. Pode ocorrer após um curto intervalo, podendo-se usar uma modulação ou codificação distinta.

**DOPPLER EFFECT** - (*Efeito doppler*) - Uma aparente alteração da frequência causada pelo movimento do satélite aproximando-se ou afastando-se da sua posição (anterior), ou ainda - Alteração aparente da frequência devida à mudança da distância entre o satélite e a estação terrena. Denomina-se também *doppler shift*.

**DOWNLINK** - (*Elo descendente ou descida*) - A frequência na qual os sinais de rádio de um satélite são recebidos por estações terrenas.

**ECCENTRICITY** - (*Excentricidade*) - O parâmetro orbital usado para descrever a forma geométrica de uma órbita elíptica; os valores da excentricidade variam desde  $e = 0$  a  $e = 1$ ; quando  $e = 0$  a órbita descrita é uma circunferência e para  $e = 1$  a órbita é uma linha reta.

**EIRP** - *Effective Isotropic Radiated Power* - (*Potência isotrópica irradiada*) - O mesmo que ERP (*Effective Radiated Power*) exceto que a antena é um radiador isotrópico. (Vide adiante ERP).

**ELLIPTICAL ORBIT** - (*Órbita elíptica*) - Aquela órbita na qual a trajetória do satélite é uma elipse da qual a terra ocupa a posição de um dos focos.

**ELEVATION** - (*Elevação*) - Ângulo acima do plano horizontal local, usualmente expresso em graus. ( $0^\circ$  = plano da superfície da terra à sua localização;  $90^\circ$  = vertical, perpendicular ao plano da terra).

**ELEVATION CIRCLE** - (*Círculo de elevação*) - O comprimento de todos os pontos, em um mapa ou globo terrestre, em, torno de uma estação terrena em que o ângulo de elevação, para um satélite específico, tem um valor fixo.

**ELLIPTICAL ORBIT** - (*Órbita elíptica*) - A órbita que um satélite descreve, em forma de elipse, tendo a terra como centro ou foco.

**EME** - *Earth - Moon - Earth* - (*Terra - Lua - Terra*) - Comunicação por reflexão lunar.

**EPOCH** - (*Época*) - O tempo de referência para o qual é definido um grupo particular de parâmetros (Elementos Keplerianos) descrevendo o movimento do satélite).

**EQUATORIAL PLANE** - (*Plano equatorial*) - Um plano imaginário que se estende pelo espaço e que contém o equador de um corpo primário, geralmente a Terra.

**EQX** - *Equator Crossing* - (*Cruzamento equatorial*) - Instante em UTC e longitude oeste do cruzamento equatorial; ou a referência de cruzamento equatorial do nó ascendente de uma órbita de satélite, usualmente especificada na hora UTC e em graus de longitude (oeste), do cruzamento.

**ERP** - *Effective Radiated Power* - (*Potência eficaz irradiada*) - Potência eficaz do lóbulo principal, ou seja, o produto da potência injetada na antena e de seu ganho referido à antena dipolo.

**ESA** - *European Space Agency* - (*Agência européia de atividades espaciais*).

**FO #** - Designativo usado por satélites amadores japoneses, com o número (#) de seqüência. Fuji-OSCAR 12 e Fuji OSCAR 20 são os dois primeiros engenhos espaciais.

**FOOTPRINT** - Conjunto de contornos dos níveis do sinal traçado em um mapa mostrando o rendimento da antena de alto ganho de um satélite. Aplica-se, geralmente, a satélites geoestacionários.

**GEOCENTER** - (*Geocentro*) - O centro da Terra.

**GEOESTACIONARY ORBIT** - (*Órbita geoestacionária*) - A órbita de um satélite a uma altitude (aprox. 35.680 Km) sobre o equador, tal que o satélite parece estar fixo sobre um dado ponto.

**GEOESTACIONARY SATELLITE** - (*Satélite geoestacionário*) - O satélite que está em um ponto fixo sobre o equador.

**GROUND STATION** - (*Estação em Terra*) - Uma estação de rádio, sobre ou nas proximidades da superfície da Terra, destinada a transmitir ou a receber para/de um engenho espacial.

**GROUND TRACK** - (*Rastro terrestre*) - A linha imaginária traçada na superfície da terra pelo ponto subsatélite (SSP), enquanto o satélite se desloca no espaço.

**HELAPS** - uma técnica destinada a produzir transponders lineares de alta eficiência.

**IHU** - *Integrated House Keeping Unit* - (*Unidade integrada de manutenção*) - O computador de bordo e os equipamentos eletrônicos que se usam para o controle da astronave ou satélite.

**INCLINATION** - (*Inclinação*) - O ângulo formado entre o plano orbital de um satélite e o plano equatorial da terra.



**INCREMENT** - (*Incremento*) - A mudança, em longitude, do nó de ascendente entre duas passagens sucessivas de um determinado satélite, medida em graus de longitude oeste, por órbita.

**INTELSAT** - Satélite Internacional de Telecomunicações.

**IPS** - *Interpreter For Process Structures* - (*Intérprete para estruturas de processamento*) - Linguagem de alto nível, semelhante à *Forth* que se usa como sistema operacional dos computadores a bordo de vários satélites OSCAR.

**ISKRA** - Satélites soviéticos de baixa órbita lançados manualmente por cosmonautas a bordo de missões Salyut. ISKRA significa "centelha" na Rússia.

**ITU** - *International Telecommunication Union* - (*União Internacional De Telecomunicações - UIT*) - Organização internacional cuja responsabilidade é a de coordenar o espectro de rádio.

**JAMSAT** - Organização AMSAT japonesa.

**KEPLERIAN ELEMENTS** - (*Elementos keplerianos*) - O clássico conjunto de seis números de elementos usados para definir e computar movimentos orbitais de satélites, O conjunto é constituído de *inclinação*, *right ascension of ascending node* - **RAAN** (Ascensão Direita de Nó Ascendente), *excentricidade*, *argumento do perigeu*, *desvio médio* e *movimento médio*. Adicionalmente, uma *taxa de queda* ou *fator de arrastamento* é usualmente incluída para corrigir a computação.

**LEO** - *Low Earth Orbit* - Órbita baixa em relação à Terra.

**LHCP** - *Left Hand Circular Polarization* - Polarização Circular na forma de rosca à esquerda.

**LINE OF NODES** - (*Linha de nós*) - A linha de intersecção do plano orbital de um satélite com o plano equatorial da Terra.

**LINEAR TRANSPONDER** - (*Transpondedor linear*) - Acessório que recebe os sinais de rádio em um segmento do espectro, amplifica-os linearmente, traduz (muda) sua frequência para outro segmento do espectro e os retransmite.

**LNA** - *Low Noise Amplifier* - Amplificador de baixo ruído.

**LONGITUDINAL INCREMENTE** - (*Incremento longitudinal*) - Mudança, em longitude, do nó ascendente entre duas passagens sucessivas de um satélite, É medido em graus OESTE por órbita.

**LOS** - *Loss Of Signal* - (*Perda de sinal*) - instante quando se perde o contato com o satélite, por este mergulhar abaixo do horizonte; considera-se um ângulo de elevação de 0°.

**MAXIMUM ACCESS DISTANCE** - (*Distância máxima de acesso*) - Medida sobre a superfície da Terra, é a existente entre uma estação terrestre e o ponto de subsatélite (SSP). O satélite ingressa no círculo de alcance do usuário e corresponde a um ângulo de elevação de 0°.

**MEAN ANOMALY - MA** - (*Desvio médio*) - Um ângulo que aumenta uniformemente com o tempo, partindo do perigeu, usado para indicar quando o satélite está localizado adiante da sua órbita. MA é usualmente especificado no instante em que os *elementos keplerianos* são definidos. Para o AO -10, o tempo orbital está dividido em 256 partes, ao invés de graus de um círculo, e MA (algumas vezes chamado FASE) é especificado de 0 a 255. Portanto, o perigeu ocorre em MA = 0, com apogeu de MA = 128.

**MEAN MOTION** - (*Movimento médio*) - O elemento kepleriano que indica o número completo de órbitas que um satélite faz em um dia solar (1.440 minutos).

**MICRO SAT** - Nome coletivo dado a uma série de pequenos satélites amadores tendo capacidade de "armazenar e retransmitir" (Ex. OSCARs 14 a 19 e o DOVE-OSCAR 17).

**MIR** - Estação Espacial da Rússia.

**MODE A** - (*Modalidade A*) - Transpondedores que recebem em 2 metros e transmitem em 10 metros.

**MODE A/J** - (*Modalidade A/J*) - Operação simultânea nas modalidades **A** e **J**. (Exemplo: OSCAR-8).

**MODE B** - (*Modalidade B*) - Transpondedor com recepção em 70 cm (440 MHz) e transmissão em 2 m (144 MHz).

**MODE C** - (*Modalidade C*) - Equivalente ao *Mode B* com menos potência de saída. Não há diferença apreciável para os usuários do *Mode B*.

**MODE D** - (*Modalidade D*) - Modalidade de recarga de baterias com o *transpondedor* desligado.

**MODE J** - (*Modalidade J*) - Transpondedores com recepção em 2 metros e transmissão em 70 cm.

**MODE L** - (*Modalidade L*) - Transpondedores com recepção em 23 cm e transmissão em 70 cm.

**MOLNIYA** - Série de satélites de comunicações fabricados pela ex-URSS. As órbitas adotadas para os satélites da Fase 3 da AMSAT são as da série MOLNIYA.

**NASA** - *National Aeronautics And Space Administration* - Autoridade espacial dos Estados Unidos da América do Norte.

**NASDA** - *Japanese National Space Development Agency* - Agência Nacional Japonesa para o Desenvolvimento do Espaço.

**NODAL PERIOD** - (*Período nodal*) - O tempo decorrido entre dois *nódulos ascendentes* da órbita do satélite.

**NODE** - (*Nó*) - Ponto em que o trajeto terrestre de um satélite cruza o equador.

**OBC** - *On Board Computer* - (*Computador de bordo*) - O computador principal que controla as funções de uma astronave ou satélite.

**ORBITAL ELEMENTS** - (*Elementos orbitais*) - Veja *Elementos Keplerianos*.

**ORBITAL PLANE** - (*Plano orbital*) - Um plano imaginário, estendido através do espaço, limitado pela órbita do satélite, contendo os rastros orbitais de um satélite.

**OSCAR** - *Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio* - (*Satélite em órbita envolvendo radioamadores*) - Associação fundada em 1960 na cidade de Sunnyvale, Califórnia, para a construção e para lançamento de satélites amadores. Foi substituída em 1969 pela AMSAT.

**OSCAR LOCATOR** - Dispositivo de rastreamento destinado aos satélites de órbitas circulares.

**PCA** - *Point of Closest Approach* - Ponto de maior aproximação. Ponto, no percurso de uma órbita, em que o satélite está mais próximo de uma estação terrestre.

**PACSAT** - (*Satellite Packet Radio*) - Veja MICROSAT e VuSAT - OSCAR.

**PASS** - (*Passagem*) - Uma órbita de um satélite.

**PASS BAND** - (*Banda de transmissão*) - A gama de frequências manejadas por um *transponder* ou *translator* de satélite.

**PERIGEE** - (*Perigeu*) - O ponto da órbita em que o satélite está mais próximo da Terra.

**PERIOD** - (*Período*) - O tempo requerido para um satélite executar uma revolução completa ao redor da Terra. Vide *Anomalous Period* e *Nodal Period*.

**PHASE 1** - O nome dado aos primitivos satélites OSCAR de vida curta, os quais não estavam equipados com baterias solares. Quando suas baterias se esgotaram, eles cessaram de operar.

**PHASE 2** - Satélite OSCAR de baixa altitude. Equipados com painéis solares que alimentam os sistemas dos engenhos espaciais e recarregam suas baterias; estes satélites têm se mostrado capazes de duração de até 5 anos. (Ex.: OSCARs 6; 7 e 8).

**PHASE 3** - Satélites OSCAR de faixa extensa, órbita alta, com sistemas de energia solar de longa vida. (Ex.: OSCARs 10 e 13).

**PHASE 3 TRACKER** - Acessório de rastreamento referente ao OSCARLOCATOR projetado para ser usado com satélite de órbitas elípticas.

**PHASE 4** - Satélites OSCAR propostos em órbitas geoestacionárias.

**PRECESSION** - (*Precessão*) - Efeito característico de um satélite que se estimula quando o apogeu, após acionado o motor de perigeu, ocorre a uma latitude de, aproximadamente, 37° norte, mas irá aumentando gradualmente, até 57° N durante poucos anos. Após, também gradualmente, reduzirá sua latitude e, passados aproximadamente cinco anos, o apogeu ocorrerá próximo ao equador. A precessão ocorre, também, nas órbitas circulares.

**PROJECT OSCAR** - *The California-based group* - Entre os primeiros a reconhecer o potencial do radioamadorismo espacial; responsável pelos OSCARs I ao IV.

**QRP DAYS** - (*Horas de operação QRP*) - Órbitas especiais fixadas à parte para operação a muito baixa potência em operação *uplink* através de satélites.

**RAAN** - *Right Ascension Of Ascending Nodes* - (*Ascensão direita de nó ascendente*) - Ângulo com o qual se especifica a orientação do *plano orbital* de um satélite em referência a estrelas fixas. A distância angular medida desde Leste até ao longo do equador celeste entre o equinócio vernal (de primavera) e a hora do nó ascendente da astronave.

**RADIO SPUTNIK** - Satélites de radioamadores russos. (Vide RS#).

**RANGE CIRCLE** - (*Círculo de alcance*) - É o que num mapa ou globo terrestre e com raio específico, corresponde à estação terrestre.

**REFERENCE ORBIT** - (*Órbita de referência*) - A órbita de satélites da Fase II, iniciando pelo primeiro nó ascendente durante aquela hora UTC.

**RHCP** - *Right-Hand Circular Polarization* - Polarização circular segundo uma rosca à direita

**RS#** - O designativo usado para muitos satélites de radioamadores russos. (Ex.: Desde RS 1 até RS 15).



**RTTY** - Transmissão, via rádio, TTY, ou seja, de teletipo (*teletype*), conhecido também como teleimpressora (*teleprinter*).

**SAREX** - Programa da NASA que possibilita comunicados dos astronautas com os tripulantes espaciais, em sua maioria radioamadores. Essencialmente, promove o interesse de escolares por atividades espaciais.

**SATELLABE** - Acessório de rastreamento para órbitas circulares. Semelhante ao OSCARLOCATOR, mas mais avançado. Vide OSCARLOCATOR.

**SATELLIPSE** - Um dispositivo de traçado gráfico semelhante ao OSCARLOCATOR, projetado para ser usado com satélite em órbitas elípticas.

**SATELLITE PASS** - (*Passagem do satélite*) - trecho de órbita durante o qual o satélite PASSA na proximidade e ao alcance de uma determinada estação de terra.

**SEMI-MAJOR AXIS** - SMA - (*Eixo semimaior*) - A metade do eixo maior de uma elipse. Aplica-se para caracterizar o tamanho de uma órbita elíptica ao invés do movimento médio de elemento orbital.

**SIDERAL DAY** - (*Dia sideral*) - O tempo requerido para a Terra girar exatamente 360° ao redor de seu eixo, com respeito às estrelas "fixas". O dia sideral contém 1.436,07 minutos. (Veja dia solar).

**SLANT RANGE** - (*Alcance em inclinação*) - A distância que existe entre um satélite e uma estação terrestre, em particular.

**SOLAR CONSTANT** - (*Constante solar*) - Energia incidente 1 AU proveniente do Sol e que incide em uma superfície plana de área unitária orientada perpendicularmente à direção de irradiação. O valor dessa constante é de aproximadamente, 1,38 KW/m<sup>2</sup>

**SOLAR DAY** - (*Dia solar*) - O dia solar, por definição, contém exatamente 24 horas (1.440 minutos). Durante o *dia solar* a Terra gira ligeiramente mais do que 360° ao redor do seu eixo com respeito às estrelas "fixas". (Veja *sideral days*).

**SPIDERWEB** - (*Teia de aranha*) - O conjunto de curvas azimutais, em um mapa ou globo terrestre, que partem para fora e em forma concêntrica desde uma localização terrestre, em particular

**SPIN MODULATION** - (*Modulação de spin*) - Amplitude periódica de "aumenta e diminui" resultante da rotação de uma antena de satélite em torno do eixo "spin" girando a antena, o que produz "picos e nulos".

**SSC** - *Special Service Channels* - (*Canais especiais de serviço*) - Frequências na banda de transmissão livre em elo descendente do AO -10 que são exclusivas para uso autorizado, planejado em tais áreas como educação, informações de câmbio, experimentos científicos, boletins e tráfego oficial.

**SSP** - *Sub Satellite Point* - (*Ponto subsatélite*) - Ponto da superfície da terra, diretamente entre o satélite e o geocentro, em certo instante e expresso em latitude e longitude.

**SSTV** - *Slow Scanning Television* - Televisão com resolução e com número de quadros reduzido, acomodada em largura de faixa de voz, o que permite sua transmissão a grandes distâncias com o mesmo equipamento de radioamador destinado a comunicações verbais.

**STATIONARY SATELLITE** - (*Satélite estacionário*) - Refere-se a um satélite geoestacionário.

**SUBSATELLITE PATH** - (*Passagem De Subsatélite*) - Ver *ground track* (*rastró terrestre*).

**TCA** - *Time Of Closest Approach* - (*Hora de máxima aproximação*) - A hora que, durante uma órbita, um satélite está mais próximo de uma determinada estação terrestre.

**TELEMETRY** - (*Telemetria*) - Sinais de rádio originados no satélite que fornecem informações da performance ou estado dos subsistemas de bordo. Também fazem referência à informação de si próprio.

**TLM** - Abreviatura de *telemetria*.

**TRANSPONDER** - Um aparelho a bordo do satélite que recebe sinais de rádio em um segmento do espectro de ondas eletromagnéticas, amplifica-os, transpõe linearmente sua frequência para outro segmento do espectro e retransmite-os. É também chamado de *translator*.

**TRUE ANOMALY** - (*Anomalia real*) - O ângulo polar que localiza um satélite no plano orbital. É traçado entre o *perigeu*, o *geocentro* e a *posição* atual do satélite. Mede-se desde o *perigeu* em direção ao movimento do satélite. Vide MA (*Mean Anomaly*) → *Anomalia Média*.

**TVRO** - *TV Reception Only* - Sinais de TV captados na Terra por descida dos mesmos provindos dos satélites comerciais geoestacionários em 4 Ghz ou 12 GHz. Captação inicialmente declarada ilegal nos Estados Unidos da América do Norte (há três ou mais décadas);

posteriormente foi autorizada para o público em geral. Seguem usando-a, principalmente, nas zonas rurais, onde não chega a TV por cabo. Uma moderna forma de TVRO é a DBS. (Vide DBS)

UCT - Universal Coordinated Time - Hora Universal Coordenada.

Uo SAT-OSCAR - (UO#) - Satélites de radioamadores construídos sob a coordenação de radioamadores e educadores da Universidade de Surrey, Inglaterra.

UPLINK - (*Elo ascendente ou de subida*) - A frequência na qual são transmitidos sinais da estação de Terra para um satélite.

WARC - World Administrative Radio Conference - (*Conferência Mundial Administrativa De Rádio*) - Entre suas atividades autorizou as novas bandas conhecidas como WARC em HF.

WINDOW - (*Janela*) - Região coberta entre círculos de captação de duas estações referenciadas a um satélite específico.

A comunicação entre as duas estações torna-se possível quando o *Ponto Sub Satélite* (SSP) está dentro da janela ( $\rightarrow$  *window*).

ZRO TEST - (*Teste ZRO*) - Tentativa praticada por estações terrestres para receber sinais débeis de referência transmitidos pelo transpondedor de um satélite. Seu nome é uma homenagem a K2ZRO por sua contribuição ao programa OSCAR.

A comunicação eletromagnética inclui várias técnicas de modulação e modos de propagação nas quais estão baseados os sistemas de modulação de voz e de código ordinários e os de propagação por reflexão ionosférica usados pela maioria dos radioamadores.

Nos anos recentes, pequenos grupos de radioamadores obtiveram grandes avanços, explorando novos métodos e técnicas de intercomunicação.

Os principais destes novos e interessantes modos e técnicas são:

- Comunicação por satélite
- Comunicação *Terra-Lua-Terra*  $\rightarrow$  EME (Earth - Moon - Earth)
- Radioteletipo
- Televisão de exploração lenta (SSTV)
- Televisão de banda larga
- Fac-símile (FAX)
- Rádio controle de modelos.

Destas novas modalidades e técnicas, a comunicação por satélite e a de *Terra - Lua - Terra*  $\rightarrow$  EME (Reflexão na Lua) têm despertado o maior interesse, tanto nos Estados Unidos da América do Norte como nos demais países e têm indicado o caminho para utilizar mais extensamente as faixas de VHF em comunicações a grandes distâncias.

A própria natureza do radioamadorismo é tal que, desde seu início há mais de 90 anos, não parou de fomentar o desenvolvimento de outros serviços de rádio nos quais, realmente, tem estado na vanguarda. Não é surpreendente, pois, que o radioamador seja o primeiro a utilizar novas técnicas e modos especializados de comunicação.

Os radioamadores se interessaram na comunicação espacial desde que foi colocado em órbita o primeiro satélite SPUTNIK no final de 1957. Milhares de radioamadores monitoraram o sinal de 20 MHz e, pouco tempo depois, alguns deles começaram a discutir o projeto de construir um *satélite* para seu próprio uso.

Os primeiros experimentos espaciais consistiram em monitorar os sinais de telemetria dos satélites lançados por outros serviços. Em 1959, um grupo de radioamadores da Califórnia (USA) formou a PROJECT OSCAR ASSOCIATION, sendo OSCAR a sigla de Orbiting Satellite Carryng Amateur Radio. O objetivo era projetar, construir e lançar um satélite espacial para os radioamadores. O satélite



funcionaria em uma faixa destinada ao serviço de radioamadores e permitiria a todos eles fazerem úteis contribuições no novo campo das comunicações espaciais. A tarefa era enorme mas o grupo de projeto OSCAR completou seu primeiro satélite ao cabo de quase um ano. O satélite continha um radiofarol de 100 miliwatts transmitindo em 144,98 MHz.

O radioamadorismo entrou na era espacial a 12 de dezembro de 1961, quando o **OSCAR-1** foi lançado ao espaço a bordo de um veículo experimental da U.S. Air Force. Antes que o histórico vôo terminasse, três semanas após, o sinal de radiofarol havia sido seguido e registrado por radioamadores de todos os continentes em 28 países. Também mais de 5.000 registros de telemetria foram recebidos pela Associação, provenientes de amadores interessados.

O segundo satélite de radioamadores, o **OSCAR-2**, foi lançado em junho de 1962. Continha um radiofarol telemétrico de 144 MHz e proporcionou aos radioamadores um ulterior treinamento neste novo e sugestivo aspecto do radioamadorismo. Foram recebidos mais de 6.000 registros de recepção provenientes de 700 diferentes estações de radioamadores espalhadas pelo mundo.

Assim, pois, em 1962 os dois primeiros satélites introduziram, com êxito, os radioamadores nas comunicações espaciais. Os radiofaróis telemétricos proporcionaram dados úteis de propagação assim como observações contínuas dos comportamentos dos satélites, trilhando o caminho para o **OSCAR-3**, primeiro satélite ativo de comunicações de radioamadores.

O OSCAR-3 é um marco na história das telecomunicações. Tendo sido posto em órbita um mês antes que o EARLY Bird (Pássaro da Aurora) - o primeiro **INTELSAT**, (International Telecommunication Satellite Consortium) tem o mérito de haver sido o primeiro satélite de comunicações de livre acesso. Em muitos aspectos, a comunicação entre radioamadores através do OSCAR-3 marcou a primeira vez em que um projeto de comunicações espaciais chegou aos países de ultramar. Mais de 400 radioamadores de 16 países se comunicaram através da repetidora do satélite durante as duas semanas de vida do engenho. O Oceano Atlântico foi cruzado duas vezes com contatos registrados entre U.S.A., Alemanha e Espanha, e os radioamadores da Califórnia ouviram os sinais havaianos através do OSCAR-3. Foi registrado o primeiro contato Ásia-Europa entre Israel e Bulgária e os radioamadores do Alasca ouviram os sinais de U.S.A. via satélite.

Continuando o programa, foi posto em órbita **OSCAR-4** em dezembro de 1965. Este satélite de comunicações se caracterizou por um enlace ascendente (up-link) na faixa de 144 MHz e um enlace descendente (down-link) na faixa de 432 MHz. A meta proposta foi situar a repetidora de 3 watts em uma órbita semi-sincrônica, a umas 18.000 milhas (28.800 m) sobre a superfície da Terra. A esta altitude, o satélite se moveria com a velocidade de rotação da Terra e deste modo permaneceria fixo *geoestacionário* no espaço sobre o extremo norte do Brasil, proporcionando comunicação em VHF, sobre o hemisfério americano, para os radioamadores.

Quando o equipamento do satélite funcionou, não se obteve a órbita proposta. permanecendo o satélite colocado em uma órbita marcadamente elíptica pelo que se desaprumava rapidamente em seu giro ao redor da Terra. Não obstante, foram estabelecidos numerosos contatos através de sua estação repetidora, inclusive o primeiro contato em duas vias, por satélite, entre U.S.A. e Rússia.

### OSCAR-5 australiano.

Para demonstrar a natureza universal do Projeto OSCAR, foi projetado e construído o quinto satélite de radioamadores pelos estudantes da Universidade de Melbourne, na Austrália, sob os auspícios do Wireless Institute of Australia. Trabalhando em conjunto com a Radio Amateur Satellite Corporation (AMSAT) de Washington, DC., uma organização internacional de radioamadores, o satélite foi preparado e qualificado para lançamento pela NASA, no início de 1970.

Foi incorporado como equipamento secundário na missão de satélite meteorológico ITOS-1. O OSCAR-5 incorporava um radiofarol de duas bandas, de 144 MHz e 29,45 MHz, incluindo um controle de ordens e comando que permitia seu ligamento e desligamento desde as estações terrestres de rastreamento. Isto foi uma demonstração importante de que as emissões do satélite de radioamadores podiam ser controladas no caso em que se produzissem interferências, abrindo a possibilidade de operar com satélites de amadores nas faixas comuns a outros serviços.

O OSCAR-5 foi o primeiro satélite de amadores destinado a transmitir no espectro de HF, bem como em VHF, o que permitiu realizar estudos de propagação em duas margens diferentes de frequência. Foram registradas numerosas e importantes anomalias de propagação, tais como as produzidas na recepção chamada "sobre o horizonte" e a recepção entre extremos de radiofarol de 10 m.

### OSCAR-6

O OSCAR-6, lançado em fins de 1972, foi um satélite mais elaborado que os modelos anteriores. Este dispositivo AMSAT inclui dois transmissores de radiofarol e uma repetidora de 144 MHz na subida e a 28 MHz na descida. Na unidade foi incorporado um receptor que aceitava as ordens de impulsos emitidos pela estação de terra e as convertia em comando de nível que ligavam e desligavam o transmissor de radiofarol de 435,1 MHz. Do mesmo modo o controle lógico convertia os sinais de comando de terra para trocar os modos de modulação dos transmissores de radiofarol. Assim, os sinais de telemetria dos radiofaróis poderiam ser manipulados pelo código Morse ou pelo sistema Codestore. Comandos adicionais controlavam o sistema de telemetria de 24 canais incorporado no satélite.

Iniciando com OSCAR-6 os radioamadores passaram a desfrutar o uso dos satélites com tempo de vida da ordem de anos em substituição aos de duração de semanas ou meses.

A vida operacional dos OSCARs 6, 7, 8 e 9, por exemplo, atingiu entre 4 a 8 anos.

Todos os satélites descritos até aqui foram de órbitas baixas em relação à Terra (Low Earth Orbit) (LEO) com altitude de, aproximadamente, 800 km a 1.200 km.

Satélites tipo LEO também foram lançados por outros grupos não associados com qualquer organização AMSAT, como é o caso dos Radio Sputniks 1 a 8 e os satélites ISKRA 2 e 3 lançados pela anterior União Soviética.

Os satélites LEO de curta vida (OSCARs de I a IV e 5) são, algumas vezes, designados como satélites da *fase I*, enquanto os satélites LEO de longa vida são denominados satélites da *fase II*.



Há outras regras para dar nome a satélites que convém conhecer. Primeiramente, é prática comum haver uma designação para o satélite antes do seu lançamento e outra após ele ser lançado com sucesso. Assim, o OSCAR-10 (discutido mais adiante) foi conhecido como *fase 3B* antes do lançamento. Após, foi adicionado ao nome um designativo AMSAT, por exemplo, AMSAT-OSCAR-10 ou, abreviadamente, AO-10. Por último, algum outro designativo pôde substituir o designativo AMSAT, como é o caso de construção japonesa FUJI-OSCAR-20 (FO-20).

Com o objetivo de prover ampla cobertura de área por períodos mais longos de tempo, foi iniciada a *fase 3* de alta altitude. Os satélites da *fase 3* freqüentemente proporcionam 8 a 12 horas de comunicações para uma grande parte do hemisfério norte. Após a perda do primeiro satélite da série FASE 3 devido a uma falha no veículo de lançamento em 1980, foi lançado com sucesso o OSCAR-10 da AMSAT tornando-se operacional em 1983. O OSCAR-13 da AMSAT, seguidor da missão AO-10, foi lançado em 1988. O AO-13 proporciona, então, maior capacidade de comunicação de ampla área em SSB e CW disponível no serviço de satélite amador. O AO-10 também possui alguma capacidade de comunicações em ampla área, porém em certas épocas do ano, devido a falhas da memória de seu computador a bordo.

O sucessor para o AO-13, *fase 3d* ainda está em construção e está programado para lançamento em 1996.

Com a disponibilidade de maior acesso de tempo e larga cobertura, semelhante ao AO-10 e AO-13, pode parecer que as órbitas de baixa altitude e curto acesso de tempo da série *fase II* seria obsoleta. Isto certamente poderia ser verdade, não fossem eles incorporados de tecnologia digital de "retém e transmite" em muitos satélites operando em baixa órbita da Terra (Low Earth Orbit → LEO). Os satélites para serviços de comunicações "retém e transmite" usando técnicas *Packet Radio* são, genericamente, chamados PACSATs. Arquivos armazenados em um sistema de mensagem PACSAT podem algo mais que simples textos ASCII de fotos e voz digitada.

O primeiro satélite equipado com sistema digital "retém e transmite" foi o Uo SAT-OSCAR-11. As primeiras experiências (Digital Comunications Experiment → DCE) não foram abertas à comunidade de Radioamadores embora ela fosse utilizada por estações designadas "gateway" (→passagem).

O primeiro satélite com aptidão "retém e transmite" aberto a todos os amadores foi o satélite japonês FUJI-OSCAR-12, lançado em 1986. O FO-12 foi sucedido pelo FO-20, lançado em 1990.

Além de possuírem serviço digital de "retém e transmite" os FO-12 e FO-20 também possuíam *transponder's* linear analógicos para comunicações em CW e SSB.

Os satélites "retém e transmite" mais populares são os PACSATs, utilizando o protocolo PACSAT de radiodifusão. Estes PACSATs pertencem a duas categorias gerais: - os MICROSATs, baseados em tecnologia desenvolvida pela AMSAT-NA, e os UOSATs, baseados em tecnologia desenvolvida pela Universidade de Surrey (Inglaterra).

Enquanto ambos os tipos são fisicamente pequenos engenhos espaciais, os MICROSAT's representam um projeto verdadeiramente inovado em termos de tamanho e capacidade. Um MICROSAT típico é um cubo medindo 23 cm de lado e

pesando cerca de 10 kg. O satélite contém um computador a bordo, suficiente RAM (Random Access Memory → acesso de memórias aleatório) para armazenar mensagens, dois ou três transmissores, um receptor multicanal, sistema de telemetria, baterias e sistema de condicionador de potência /carga de baterias.

Os satélites de radioamadores têm se desenvolvido para proporcionar dois tipos primários de serviço de comunicações -*Transponders* analógicos para comunicações CW e SSB em tempo-real (real-time) e "retém e transmite" digital para comunicações não em tempo-real.

### OPERAÇÕES BÁSICAS E TERMINOLOGIA

Desde que ambos os satélites de baixa e alta órbita (Low Earth Orbit→LEO e High Earth Orbit →HEO) estão disponíveis para uso, seria uma boa idéia adquirir uma imagem mental das bandas de comunicações para cada tipo de órbita.

Devido sua altura, os satélites LEO permitem um tempo de acesso (comunicações) geralmente durante 12 a 20 minutos, enquanto os satélites HEO permitem um tempo de acesso mais longo, que vai de 10 a 12 horas.

Quando acessando um satélite radioamador, a estação receptora é sintonizada na frequência *downlink* do satélite. Se um determinado satélite permite duas vias de comunicação, a estação de terra transmite na frequência *uplink* do satélite. As frequências *uplink* e *downlink* estarão em diferentes bandas e cada combinação de bandas usadas terá um *modo* designativo.

Por exemplo, a combinação de um *uplink* na banda de 2 m e um *downlink* na banda de 10 m é chamado *mode A*.

A maneira exata na qual são usados os *uplink* e *downlink* de satélites depende da utilidade primária do satélite, quer seja proporcionar serviços de comunicação analógica ou digital. Satélites tais como o AO-13 fazem uso de transponders. Os *transponders* regeneram todos os sinais que aparecem na sua banda de frequência de entrada (*uplink*) sobre a sua banda de frequência de saída (*downlink*).

Sinais de CW, SSB e FM, que aparecem na entrada, surgirão como sinais de CW, SSB e FM na saída. Dependendo das características de projeto do *transponder*, sinais de USB (→banda lateral superior) na entrada, podem aparecer tanto em USB como em LSB (→banda lateral inferior) na saída. As relações de baixa para alta frequência entre bandas de frequência de *uplink* e *downlink* podem também diferir. Por exemplo, o *uplink* do AO-13 de *mode B* é 435,423 a 435,573 MHz, enquanto o seu *downlink* é 145,975 a 148,825 MHz. Isto significa que um sinal no extremo inferior do *uplink* será retransmitido no extremo superior do *downlink*. Por outro lado, o *uplink* do RS-10 de *mode A* é 145,860 a 146 MHz, enquanto o seu *downlink* está entre 29.360 e 29,400 MHz. Conseqüentemente, um sinal no extremo inferior da banda do *uplink* aparecerá no extremo inferior da banda do *downlink*. Raramente é usada FM em *transponders* de satélites amadores.

Em contraposição, para satélites tais como o AO-13 e o RS-10 cuja missão primária é conter *transponders lineares* para comunicações CW e SSB, as frequências de *uplink* e *downlink* são usualmente canalizadas. Neste caso são usadas frequências específicas tanto para *uplink* como para *downlink*. A razão para UPLINKS múltiplos e um simples *downlink* no mesmo satélite é o acesso

descoordenado ALOHA usado pelas estações de terra. Geralmente o satélite pode manejar solicitações de mais de uma estação de terra sem sobrecarregar seu próprio *downlink*.

Lembre-se que, como o satélite se move em relação ao observador, a frequência do *downlink* mudará devido ao efeito *doppler*.

Para satélites com *transponders* lineares, foram adotados procedimentos operacionais para minimizar interferência a outras estações na banda de transmissão livre, enquanto permanecem sintonizados na estação desejada.

Para satélites com equipamento digital, o *modem* usualmente sintoniza a frequência do receptor para compensar o deslocamento por efeito *doppler*.

### EX-CURSO: SATÉLITES COM TRANSPONDERS ANALÓGICOS

Já foi planejada uma tabela contendo as frequências propostas para *fase 3D* a ser lançada em 1996. Ambas são precisas como as de janeiro de 1995.

Um sensível acesso para iniciar comunicações por satélite é escolher um deles de baixa órbita LEO (RS 10/11 ou RS 13, por exemplo) operando em frequências para as quais você já possui equipamento. Mesmo que o tempo de acesso seja mais curto do que com satélites de órbita alta (HEO), pode ser obtida experiência usando o equipamento disponível e antenas simples. Neste caso, se houver dificuldade financeira, monte uma estação para trabalhar a mais ampla cobertura de satélites tais como o AO-13.

Há tanta ênfase na larga área de cobertura dos satélites de alta altitude que os satélites de baixa órbita da Terra (LEO) muitas vezes não recebem a devida atenção. Todavia, há grande aumento de satisfação obtida pelo trabalho de outras estações via satélites LEO. Além disso, tais contatos proporcionam prática em rastreamento e sintonia que se provaria valiosa, não importando que satélite seja eventualmente usado.

Uma primeira investida à comunicação por satélite amador seria empreendida tão barata quanto possível. Operações exitosas em satélites LEO podem ser realizadas usando antenas omnidirecionais, uma potência *uplink* da ordem de 100 W EIRP e em bom receptor. Se for usado *modo A*, pode ser vantajoso um receptor pré-amplificado de 10 m. Analogamente, se for usado *modo J* seria proveitoso um receptor pré-amplificado de 70 cm. O objetivo de uma passagem de nível de aproximação é eliminar a complexidade de antenas direcionais de alto ganho. Um nível de potência de 50 a 100 W ligada a uma antena omnidirecional é mais do que suficiente para QSOs em CW e às vezes manterá QSOs em SSB.

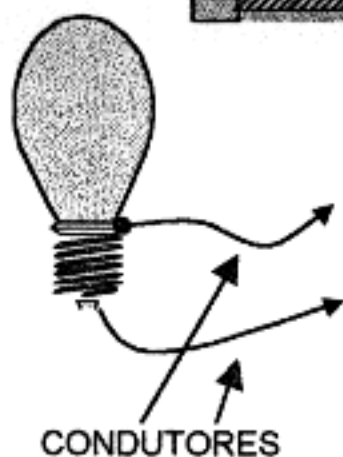
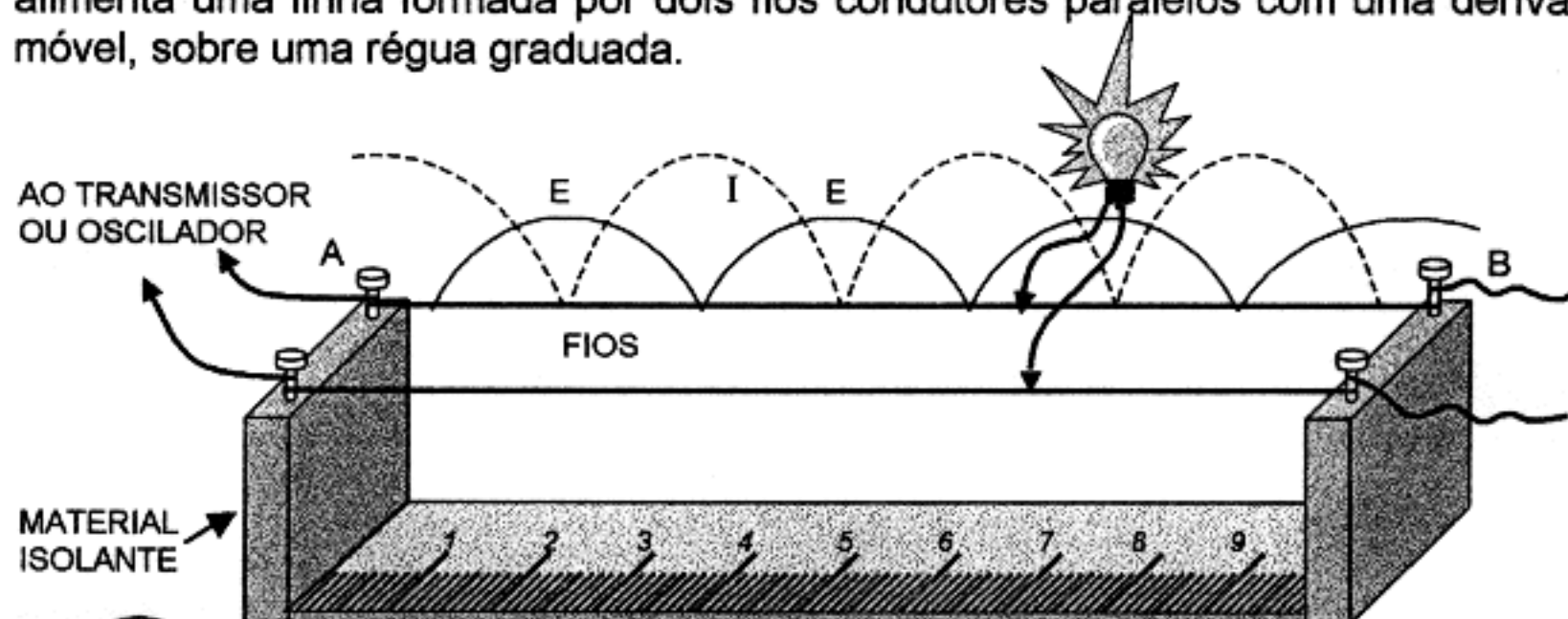
Observa-se que, até 1996, já foram lançados mais de 20.000 satélites, incluindo-se os de radioamadores.



## 12. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPRIMENTO DE ONDA, FREQUÊNCIA, VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO E AMPLITUDE DE UMA ONDA

### a) COMPRIMENTO DE ONDA

Para determinar o comprimento de uma onda usaremos uma experiência que emprega (por exemplo) um transmissor de frequência muito elevada (VHF) que oscila numa frequência próxima de 160 MHz. Este transmissor alimenta uma linha formada por dois fios condutores paralelos com uma derivação móvel, sobre uma régua graduada.



Esta linha é denominada Linha De Lecher.

Uma lâmpada-piloto (pequena lâmpada usada em rádios) é ligada deslocando-se ao longo da Linha de Lecher.

A lâmpada-piloto acenderá nos pontos onde houver picos de corrente.

Para encontrar os picos de tensão utiliza-se uma pequena lâmpada néon.



Segure a lâmpada entre os dedos e a mova ao longo da linha mantendo continuamente em contato com a linha o fio previamente soldado a um dos contatos do soquete da lâmpada.

Note-se que a lâmpada néon permanecerá apagada nos pontos correspondentes aos picos de corrente já verificados anteriormente; mas se acenderá entre os picos de tensão, alcançando seu brilho máximo no ponto médio entre dois picos de corrente. O ponto de brilho máximo corresponde a um pico de tensão.



Note que, por definição já vista anteriormente, a *distância* sobre a régua graduada entre *dois picos consecutivos de corrente* é igual a **meio comprimento de onda** (lido sobre a régua).

Se o transmissor de VHF de linha paralela sintonizada estiver oscilando nas proximidades de 160 MHz, a distância entre dois picos consecutivos de *tensão* (ou de *corrente*) medirá cerca de 94 cm; isto corresponde a *meio comprimento de onda*, logo, o **comprimento de onda** neste caso será igual a , aproximadamente, 188 cm.

## b) FREQÜÊNCIA

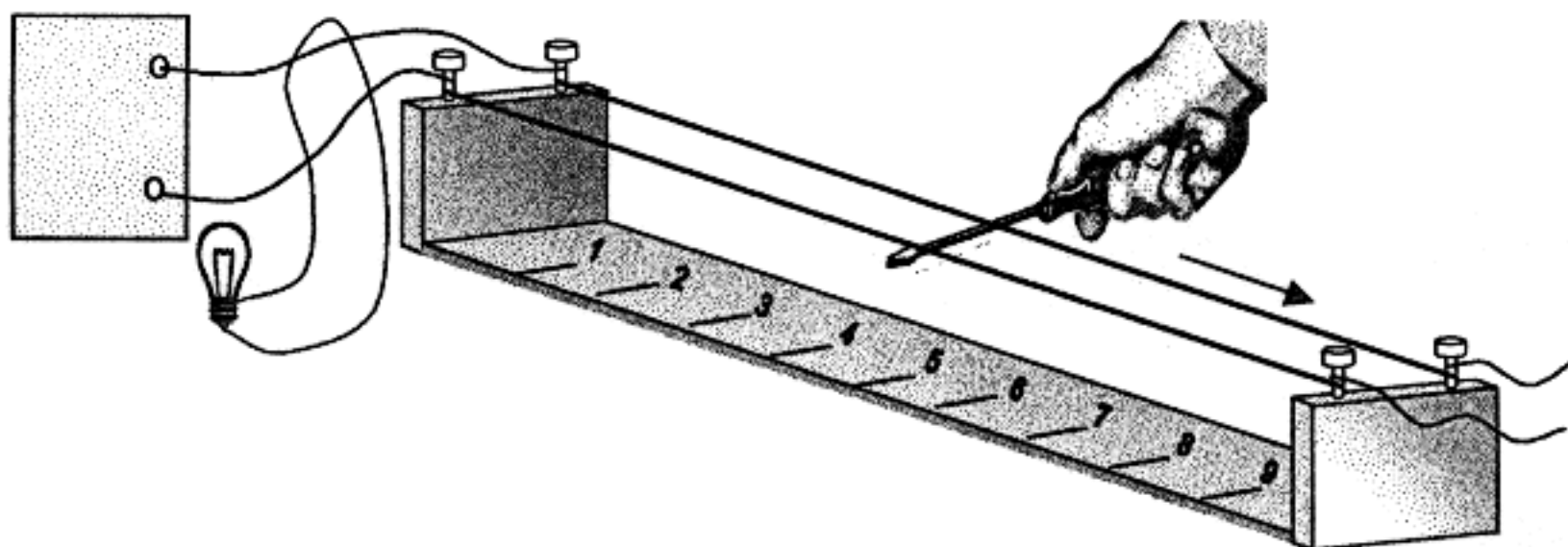
Mediante a *linha de Lecher*, também é possível se determinar a **freqüência** de um oscilador (p. exemplo) de VHF.



Inicialmente, prepara-se a lâmpada-piloto, soldando, nos pontos de contato do seu soquete, os extremos de um fio isolado em forma de uma espira. (Isto constitui um *aro de Hertz*).

Para que a lâmpada acenda, acopla-se indutivamente (sem ligação direta) a espira (soldada à lâmpada) ao circuito tanque do oscilador (*do transmissor*).

A espira fica entre a linha sintonizada e a *linha de Lecher*.



Note-se que a *linha de Lecher* está com seu extremo aberto e a lâmpada estará acesa, comportando-se como *carga* ligada ao tanque do oscilador, pois a lâmpada-piloto está ligada à espera que capta energia de RF do *oscilador*.

Em seguida, toma-se uma chave de fenda, segurando-a pelo cabo isolante, faz-se um curto-circuito na extremidade de entrada da *linha de Lecher* e desloca-se a chave curto-circuitante, lentamente, em direção ao extremo final aberto, sempre mantendo o curto sobre a linha.

Ao alcançar certo ponto, diminuirá o brilho da lâmpada, indicando que o curto-circuito está situado, eletricamente, à distância igual a *meio comprimento de onda* da espira de acoplamento; aumentando, em conseqüência, a *carga* aplicada ao *oscilador* (*transmissor*).

Este ponto será cuidadosamente anotado, prosseguindo-se ao deslocamento da chave de fenda curto-circuitante em direção ao extremo aberto da *linha de Lecher*.

Novamente, será atingido um ponto onde diminui a intensidade luminosa da lâmpada. Este ponto estará *meio comprimento de onda* do ponto anterior.

Usando-se a fórmula:

$$f = \frac{15.000}{d}$$

onde  $f$  = freqüência em MHz  
 $d$  = distância em cm entre os dois pontos determinados .

Calcula-se a *freqüência* do oscilador.

Ex.:  $d = 100$  cm

$$f = \frac{15.000}{100} = 150 \text{ MHz}$$

Nota: Pode-se usar a fórmula

$$f = \frac{15}{d}$$

onde  $f$  = freqüência em MHz  
 $d$  = distância em metros entre os dois pontos determinados.

### c) VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO

As ondas de rádio, semelhantes a outras radiações eletromagnéticas, movem-se a uma velocidade de, aproximadamente, 300.000 km/s no vácuo.

Através de outro meio, as ondas de rádio movem-se mais lentamente. O decréscimo de velocidade na atmosfera é tão pequeno que, usualmente, é desprezível, mas, entretanto, algumas vezes esta pequena diferença é significativa.

Num fio elétrico, a velocidade de uma onda de rádio é, em contraste, cerca de 95% da verificada no espaço livre em outros meios, em virtude da auto-indutância presente no fio.

A velocidade de uma onda de rádio é sempre o produto do comprimento da onda  $\lambda$  ( $\rightarrow$ letra grega lambda) multiplicado pela freqüência  $f$ , seja qual for o meio. A relação pode ser estabelecida simplesmente como:

$$c = f \times \lambda \quad \text{ou} \quad v = f \times \lambda$$

onde:

$c$  = velocidade em m/s

$f$  = freqüência em hertz

$\lambda$  = comprimento da onda em metros.

O comprimento da onda ( $\lambda$ ) de qualquer radiofreqüência pode ser determinado desta simples fórmula. No espaço livre, onde a velocidade é de  $3 \times 10^8$  m/s, o comprimento de onda de um sinal de rádio de 30 MHz é, portanto, 10 m.

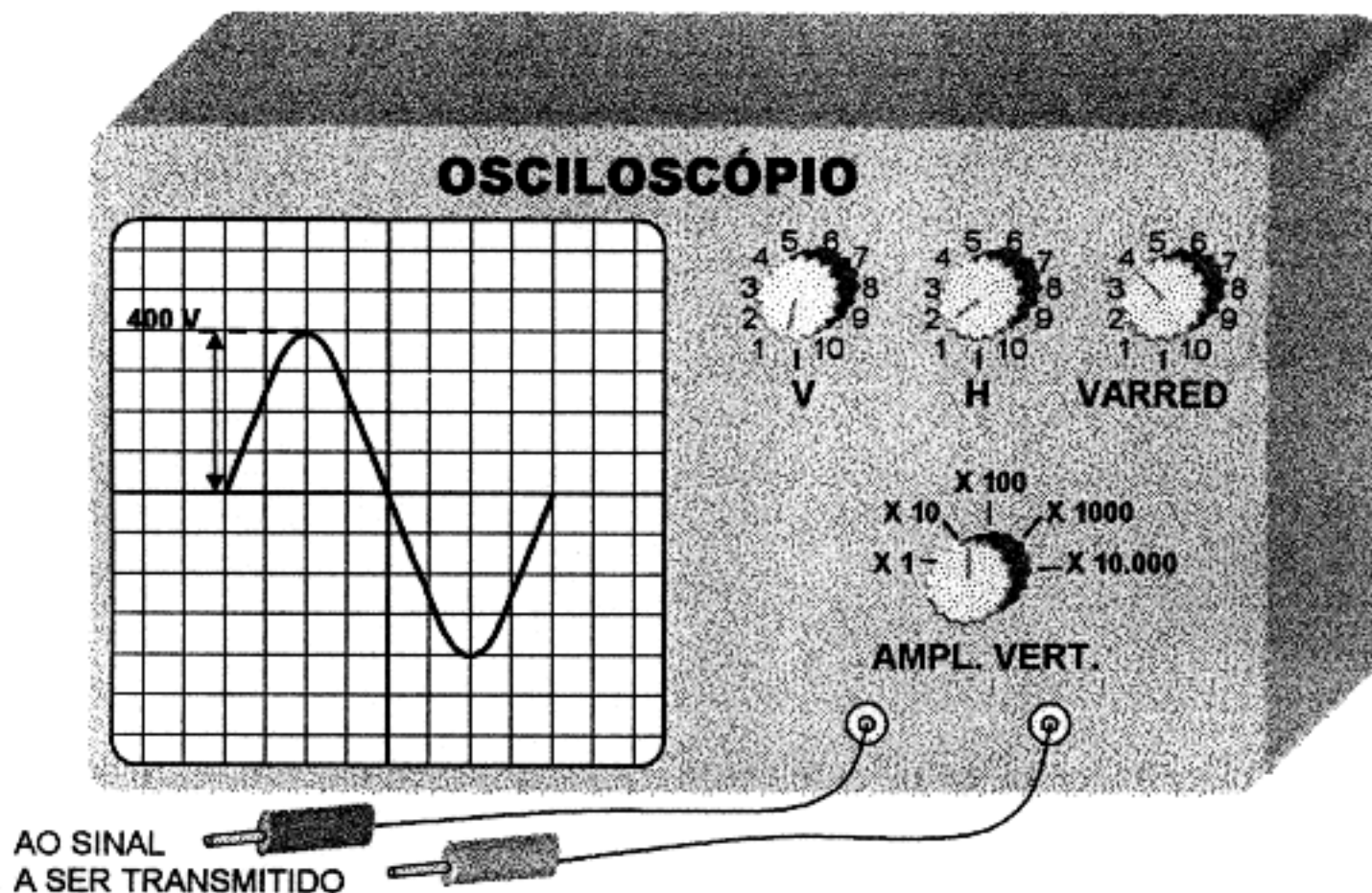
O comprimento de onda decresce em outros meios, porque a velocidade de propagação neles é mais baixa.

Num fio elétrico, o comprimento de onda de um sinal de 30 MHz encurta até cerca de 9,5 m. Este fator deve ser levado em consideração para projetar antenas e noutras aplicações.

#### d) AMPLITUDE DE UMA ONDA

A *amplitude de uma onda*, cuja definição já abordamos anteriormente, pode ser determinada experimentalmente usando-se um *osciloscópio*, com máscara graduada convenientemente, para medição de sinais em deflexão vertical.

Exemplo:



...mostrado na tela do OSCILOSCÓPIO.

O osciloscópio estará com seus botões ajustados para medir a amplitude de um sinal, de tal forma que a altura de cada "quadrado" da tela representa 100 V. Logo, a amplitude do sinal será de 4 quadradinhos, ou seja, 400 V.

### 13. EFEITO DOPPLER

**OBSERVAÇÃO INICIAL:** O Efeito *Doppler* verifica-se tanto em acústica (com baixas frequências) quanto em rádio (frequências mais altas). Para melhor compreensão deste efeito, iniciaremos pela sua manifestação em frequências audíveis (audiofrequências).

#### a) APLICAÇÕES GERAIS

Quando uma fonte de som ou um ouvinte, ou ambos, estão em movimento em relação ao ar, a altura do som observada pelo ouvinte, não é, em geral, a mesma como se a fonte e o ouvinte estivessem em repouso.



Para exemplo, suponha-se uma pessoa parada no passeio de uma rua, enquanto um automóvel passa rapidamente, buzinando. Essa pessoa tem a impressão de que o som parece mais agudo à medida que o carro se aproxima, e mais grave quanto mais o carro se afasta.

Esse fenômeno recebe o nome de **Efeito Doppler**, aplicável a objetos que emitem sons à medida que se movimentam.

*O tom de um som corresponde ao número de vibrações do ar (ou ondas) que atingem o ouvido de uma pessoa dentro de determinado espaço de tempo. Por exemplo: - O som **Dó**, oitava de **Dó** médio, equivale a 512 vibrações (ou ciclos) por segundo. No entanto, se o som de uma buzina, **nesse tom**, se aproximar de uma pessoa, seus ouvidos receberão **maior número** de vibrações (ciclos) por segundo, por exemplo, 540 ciclos, o que eleva a altura do som para **Mi**, que é mais **aguda**.*

*Mas quando a buzina se afastar rapidamente, com o carro em movimento, chegará aos ouvidos dessa mesma pessoa um **menor número** de ciclos, que corresponde a **Si Bemol** (abaixo de **Dó**), portanto, um som **mais grave**.*

*O **Efeito Doppler** não inclui apenas as mudanças e variações das ondas sonoras, mas também as das ondas de luz e de rádio.*

*Lembre-se que a velocidade das ondas de rádio é, aproximadamente, igual à da luz.*

*Se enviássemos uma nave interestelar em direção a uma estrela de cor vermelha, cada vez chegaria a essa nave um **número maior** de ciclos por segundo (devido à velocidade da nave) e a cor percebida pelos tripulantes da nave se desviaria para o alaranjado (cor de **freqüência maior**).*

*Se, ao contrário, a nave se estivesse afastando da mesma estrela, sua cor vermelha pareceria desviar-se para a faixa de ondas **mais longas** (um **número menor** de ciclos por segundo), do espectro, isto é, para o infravermelho e o astro se tornaria cada vez menos visível à vista desarmada.*

## **b) APLICAÇÕES ÀS ONDAS DE RÁDIO EM COMUNICAÇÕES POR SATÉLITE**

Quando se ouvem os sinais de rádio de um satélite (não geoestacionário) em movimento, cuja distância *varia* em relação à nossa estação, podemos perceber que a *freqüência* de sua emissão-piloto está constantemente diminuindo devido à variação da distância.

O satélite vai se aproximando com alta velocidade relativa, quando ainda está longe; esta velocidade diminui até o ponto onde passa tangencialmente à nossa posição (*neste instante, o Efeito Doppler é zero*); e depois vai-se afastando de nossa estação com velocidade sempre crescente até desaparecer no horizonte.

Devido a essas velocidades relativas, começamos a captar os sinais do satélite *acima* de sua *freqüência nominal*; a freqüência de recepção diminui



constantemente até à perda de recepção do sinal emitido pelo satélite que sai do alcance de nossa estação. Assim sendo, o radioamador tem de reajustar sua frequência de recepção durante a passagem do satélite.

Há uma exceção estabelecida por radioamadores: - Quando uma rede de radioamadores, da mesma área, faz contato por satélite, o coordenador da rede aumenta continuamente sua frequência de transmissão para que toda a rede possa captá-lo sem necessitar de reajuste de frequência nos receptores.

Portanto, concluímos que o **Efeito Doppler**, já conhecido da Física, provou ser uma excelente ajuda a muitas áreas da tecnologia e da ciência.

A frequência  $f_m$  medida ou recebida por um observador é dada pela seguinte fórmula geral:

$$\textcircled{F} \quad \boxed{f_m = f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)} \quad \text{ou} \quad f_m = f_0 \frac{c - v}{c}$$

na qual:

$f_0$  = frequência (real) emitida.

$v$  = velocidade relativa entre o *transmissor* e o observador ( $\rightarrow$ Receptor).

$c$  = velocidade da luz (ou das ondas de rádio) que vale 300.000.000 m/s.

**OBS.:** Velocidade *relativa*, neste caso, é a velocidade em que *transmissor* e *receptor* se aproximam ou se afastam; podendo um deles estar *fixo* e o outro *móvel* ou ambos estarem em *movimento*, de aproximação ou de afastamento.

1º caso - Se o transmissor **emissor**, em movimento, se aproxima de um observador estacionário **receptor**, a velocidade  $v$  tem sinal negativo, logo, a frequência recebida **umenta** e temos:

$$f_m = f_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right) \quad \text{ou} \quad f_m = f_0 \frac{c + v}{c}$$

Neste caso, a frequência aparente é maior que a frequência real.

2º CASO - Se o **emissor** se move *afastando-se* do observador **receptor** estacionário, a velocidade  $v$  tem sinal *positivo*, logo a frequência recebida **diminui** e temos:

$$f_m = f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right) \quad \text{ou} \quad f_m = f_0 \frac{c - v}{c}$$

Neste caso, a frequência aparente é menor que a frequência real.

**OBSERVAÇÃO:** Na fórmula geral  $\textcircled{F}$  :

$$f = f_0 \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

entrando-se com  $+v$  ( $\rightarrow v$  c/sinal positivo), o sinal (-) da fórmula ainda permanece.

Porém, quando se entra com  $-v$  ( $\rightarrow v$  c/sinal negativo), o sinal (-) da fórmula passa a ser (+), pois

$$f = f_0 \left[ 1 - \frac{-v}{c} \right] \quad \text{ou} \quad f = f_0 \left[ 1 + \frac{v}{c} \right]$$

por que (-) multiplicado por (-) dá (+).

Para determinar o *período* de um satélite usa-se a **diferença** entre a *freqüência recebida* e a *freqüência real*. Essa **diferença** vale:

$$f_m - f_0 \quad \text{ou} \quad \Delta f \leftarrow \text{variação de freqüência}$$

$$\Delta f = - f_0 \frac{\pm v}{c}$$

-- o O O O o --

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- SINGER, Francisco L. – **Transformadores** – Barcelona, Ed. Marcombo, 1955.
- FOUILLÉ, A. – **Problèmes d'Électrotechnique a l'Usage des Ingénieurs** – Barcelona – Ed. José Montesó, 1960.
- CARAMANOLIS, Stratis – **Oscar Amateur Radio Satellites**, 1966.
- MINIWATT, Servicios Técnicos – **El Transistor en la Teoría y en la Práctica** – Madrid, Ed. Marcombo, 1961.
- ZHEREBTSOV, I. - **Fundamentals of Radio** – Moscou, Ed. Foreign Languages Publishing House, s/data.
- QUINTANA (h), L. Moreno – **Manual de Radio Transmisión Amateur** – Buenos Aires, Ed. Hobby, 1966.
- A .R.R.L. - **The ARRL Antenna Book** – Lakewood, NJ – USA, Ed. ARRL, 1960.
- HALÁSZ, Iwan Th. – **Handbook do Radioamador** – S. Paulo, EDUSP, 1993.
- VAN VALKENBURGH, Nooger & Neville, Inc. – **Eletrônica Básica**, 2<sup>ª</sup>. Ed. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1960
- VAN VALKENBURGH, Nooger & Neville, Inc – **Eletricidade Básica**, 3<sup>ª</sup>. Ed .- Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1960.
- DAWES, Chester L. – **Electricidad Industrial** – Barcelona, Ed. Reverté, S. A ., 1958.
- HENNEY, Keith - **Manual de Radio Ingeniería** – Buenos Aires, Ed. HASA, 1948.
- SMITH, F. Langford – **Radio Designers Handbook**, 4<sup>ª</sup>. Impressão, London, Ed. ILIFFE & Sons Ltd., 1957.
- ORR, William I. – W6SAI – **Radio Handbook** – Barcelona, Ed. Marcombo Boixareu, 1982.
- A .R.R.L. – **The ARRL Handbook for Radio Amateurs** –USA, Ed. ARRL, 1996.

...oo00oo...





**PROF. JOSÉ ANDRÉ GUIMARÃES**

# **NOÇÕES DE RADIOELETRICIDADE PARA RADIOMADORES**

**SEGUNDA EDIÇÃO**

