

**CURSO DE ELETRÔNICA**

**FUNDAMENTOS DE**  
**SOM E**  
**ACÚSTICA**

**NEWTON C. BRAGA**



**VOLUME**

**∞**

**NCB**

**Newton C. Braga**

# **Curso de Eletrônica**

## **Fundamentos de Som e Acústica**

Institute Newton C. Braga  
São Paulo - 2015



Institute NCB  
[www.newtoncbra.com](http://www.newtoncbra.com)  
[leitor@newtoncbra.com.br](mailto:leitor@newtoncbra.com.br)

Curso de Eletrônica – Fundamentos de Som  
Autor: Newton C. Braga  
São Paulo - Brasil - 2014  
Palavras-chaves: Electronica, Som , Acústica

Copyright by

INTITUTO NEWTON C BRAGA.

1<sup>a</sup> edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfilmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Essas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

Diretor responsável: Newton C. Braga  
Diagramação e Coordenação: Renato Paiotti

**Conteúdo**

<b>Lição 1 - A Natureza do Som .....</b>	<b>12</b>
1.1 - O que é som .....	12
1.2 - Os Infrassons e os Ultrassons .....	16
1.3 - Características .....	19
1.4 - Propriedades .....	25
<b>Lição 2 - Ruídos e a Medida dos Sons .....</b>	<b>30</b>
2.1 - Ruído .....	30
2.2 - Roncos e Zumbidos e outros ruídos .....	32
2.3 - Mais características dos sons – Características Fisiológicas.....	33
2.4 - Som estereofônico .....	35
2.5 - A medida do som .....	38
<b>Lição 3 - Os Transdutores .....</b>	<b>48</b>
3.1 - O que são Transdutores .....	48
3.2 - Como Funciona o Microfone .....	48
3.3 - Microfonia ou Realimentação Acústica .....	65
3.4 - Fonocaptadores .....	66
3.5 - Cabeças de Leitura (Gravação Magnética) .....	69
3.6 - Captadores Para Violão, Guitarras e Outros Instrumentos .....	71
3.7 - Captadores Telefônicos .....	71
<b>Lição 4 - Transdutores II .....</b>	<b>75</b>
4.1 - Os Alto Falantes .....	75
4.2 - Tipos de Alto-Falantes .....	79
4.3 - Alto-Falantes de Plasma .....	82
4.4 - Alto-Falantes Eletrostáticos .....	85
4.5 - Alto-Falantes Giratórios .....	87
4.6 - Especificações dos Alto-falantes .....	89
4.7 - Potência dos Alto-Falantes e Impedância .....	90
4.8 - Associação de Alto-Falantes .....	96
4.9 - Ligações Série e Paralelo de Alto-Falantes .....	99
4.10 - Linhas de Distribuição .....	102
4.11 - Fase de Sistemas de Alto-Falantes .....	107
4.12 - Caixas Acústicas .....	115
4.13 - Termos Técnicos Para Alto-Falantes .....	118
4.14 - Fones de Ouvido .....	121
4.15 - Problemas de Funcionamento .....	125

---

<b>Lição 5 - Os Amplificadores .....</b>	<b>128</b>
5.1 - Para que servem os amplificadores .....	128
5.2 - Tipos de Amplificadores .....	132
5.3 - Amplificadores BTL .....	153
5.4 - Informação – Ligação de Amplificadores em Paralelo .....	157
<b>Lição 6 - Os Pré-Amplificadores .....</b>	<b>161</b>
6.1 - Para que servem os pré-amplificadores .....	161
6.2 - A Equalização .....	161
6.3 - Outras especificações .....	164
6.4 - As configurações dos transistores .....	173
6.5 - Configuração Estéreo e Alimentação .....	177
<b>Lição 7 - Controles de Tom e Equalizadores .....</b>	<b>184</b>
7.1 - Controles de Tom .....	184
7.2 - Os equalizadores .....	189
7.3 - Como usar os equalizadores .....	195
7.4 - Loudness .....	198
7.5 - Como funciona .....	199
<b>Lição 8 - Filtros divisores e outros circuitos .....</b>	<b>205</b>
8.1 - Filtros ou Separadores de Frequências .....	205
8.2 - A fórmula de Wheeler .....	229
8.3 - Filtros Ativos.....	231
<b>Lição 9 - Distorção .....</b>	<b>233</b>
9.1 - Distorção .....	233
<b>Lição 10 - Fontes de Programas .....</b>	<b>243</b>
10.1 - Os primeiros gravadores .....	243
10.2 - A Gravação Magnética .....	247
10.3 - Aperfeiçoamentos .....	255
<b>Lição 11 - Som Digital .....</b>	<b>258</b>
11.1 - Gravação Digital .....	258
11.2 - Como Funciona a Gravação em CD .....	263
11.3 - MP3 .....	264
11.4 - Áudio do DVD .....	270
<b>Lição 12 - Sonofletores ou Caixas Acústicas e Sistemas de Som .....</b>	<b>274</b>
12.1 - Pannel Infinito (Infinite Baffle) .....	274
12.2 - Sistemas Fechados ou Caixas Herméticas .....	275

12.3 - Os Refletores de Graves .....	277
12.4 - Outros sistemas .....	277
12.5 - Como Instalar Seu Sistema de Som .....	278

**Lição 13 - CABOS E CONEXÕES DE SOM ..... 292**

13.1 - Tipos de cabos .....	292
13.2 - Cabos e Fios (como testar) .....	307

**Lição 14 - FET - TRANSISTOR – VÁLVULA ..... 315**

14.1 - As Válvulas .....	315
14.2 - Os transistores bipolares .....	316
14.3 - Os MOSFETs .....	318
14.4 - As Diferenças finais .....	319
14.5 - Trabalhando com Equipamentos Valvulados .....	321
14.6 - Os Amplificadores Valvulados .....	322
14.7 - Recuperação d Valvlados antigos (rádios e eletrolas) ...	325

## Apresentação

Antigamente eletrônica se resumia em rádio, amplificadores e televisão. E mesmo os amplificadores, em sua maioria eram os tipos destinados ao uso com toca-discos que era a mídia dominante dos anos 20 aos anos 70.

Estes amplificadores de potências entre 1 e 3 W eram destinados a equipamentos portáteis e quando eram de mesa, aproveitava-se a etapa de saída de áudio de um rádio que funcionava em conjunto.

No entanto, os equipamentos de som começaram a se diversificar vindo inicialmente o gravador de fitas, depois os amplificadores de alta fidelidade (HI-FI e ultra-lineares) e estereofônicos, os sistemas de sonorização ambiente e automotiva. Hoje a eletrônica que se dedica aos sons se ampliou a tal forma que podemos dizer que trata de uma ciência especial que merece estudos profundos.

No nosso curso Eletrônica Básica - Volume 1 - tratamos de som e no volume 2 estudamos diversos tipos de circuitos que amplificam sons ou ainda geram, podendo ser usados em instrumentos musicais.

Mas não fomos longe o suficiente para analisar as principais tecnologias encontradas hoje nos equipamentos, os sistemas de som ambiente e automotivo, circuitos especiais de equalização e de efeitos, os reforçadores de graves (pancadas) o que exigiria bastante tempo e espaço.

Assim, mesmo não pretendendo analisar todo o assunto, que é muito extenso, preparamos este volume de nosso curso para os leitores que desejam ir além de nossos cursos de Eletrônica Básica e de Eletrônica Analógica.

Faremos neste volume uma análise mais profunda

dos fenômenos acústicos, de suas propriedades fisiológicas e suas medidas e também analisaremos como tudo isso é utilizado na eletrônica.

As noções que daremos são apenas o ponto de partida para os que desejam se aprofundar mais no assunto, com um tratamento matemático de muitos efeitos ou desenvolvimento de muitos projetos, o que só é possível num curso de engenharia ou de obras mais avançadas.

Nós mesmos em nosso site temos alguns artigos que trabalham com cálculos, por exemplo, envolvendo divisores de frequências para alto-falantes e até mesmo o projeto de etapas amplificadoras lineares e de som ambiente.

Como nossa vocação é didática, dedicamos este volume a todos que tendo conhecimentos básicos de eletrônica desejam saber como os princípios básicos da eletrônica e da física dos sons são aplicados nos seus equipamentos de som.

Newton C. Braga

## Introdução

Neste volume de nosso curso (\*), estudaremos a natureza do som e suas propriedades, analisando fenômenos como o eco, a reverberação e a difração a partir do ponto de vista da física.

Também analisaremos o modo como o som é medido e seus aspectos fisiológicos como a maneira como o percebemos e como isso depende das pessoas.

A característica analógica do som será colocada em evidência, mostrando que, apesar dos equipamentos de som processarem os sinais digitalmente, tanto na sua entrada como saída temos sinais analógicos, pois a emissão de som é analógica assim como a nossa percepção.

Estudaremos os transdutores usando na conversão de energia acústica (som) em sinais elétricos e vice-versa e como esses transdutores são usados nos equipamentos de som.

E, chegando à eletrônica analisaremos os circuitos que encontramos nos equipamentos de som, começando indo dos pré-amplificadores, equalizadores e controles de tom até os amplificadores de potência.

A para os amplificadores de potência analisaremos as suas principais características como a potência, fidelidade, entradas e saídas.

Teremos ainda uma análise das principais configurações com as classes de amplificadores, com especial atenção para os tipos digitais e também os amplificadores antigos valvulados.

Ruídos e interferências que podem ser captados por estes equipamentos também serão analisados e terminaremos o volume com os acessórios que vão dos cabos, caixas, conectores e tudo mais que faz parte de um sistema de som doméstico ou automotivo.

(\*) Outros volumes da nossa série "Curso de Eletrônica"

- Eletrônica Básica
- Eletrônica Analógica
- Eletrônica Digital (vol 1 e 2)
- Eletrônica de Potência
- Telecomunicações - Radio Comunicações
- Eletrônica automotiva

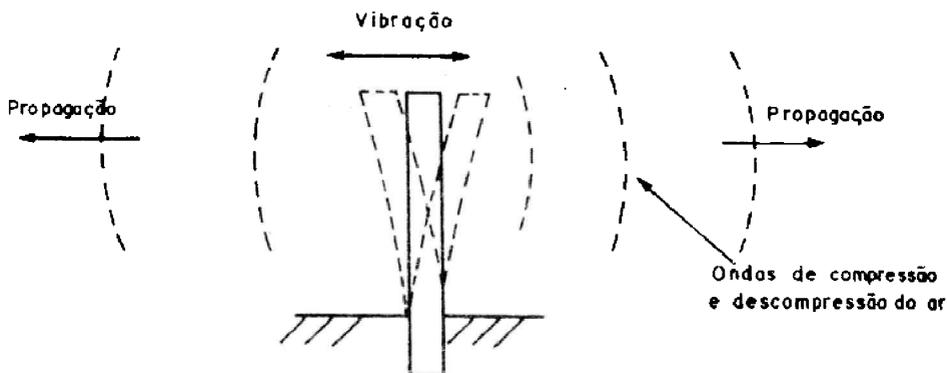


## Lição 1 - A Natureza do Som

Nesta lição você vai conhecer a natureza do som, como são produzidas as ondas sonoras e como elas se propagam. Vai também saber como nossos ouvidos respondem às diversas frequências. As características e propriedades do som serão analisadas para que você saiba trabalhar melhor com ele.

### 1.1 - O que é som

Imaginemos um corpo que possa vibrar livremente, fazendo um movimento de vai e vem, conforme ilustra a figura 1.



*Figura 1 – Um corpo vibrando*

Este corpo, ao se movimentar, produz ondas de compressão e decompressão do ar a sua volta e essas ondas se propagam em todas as direções preenchendo o espaço. Dizemos que este corpo vibrante está oscilando e que as ondas se propagam num meio material, no caso o ar.

Está claro que, se não houver nenhum meio material em contacto com o corpo que vibra estas ondas não podem ser produzidas.

Se uma pessoa estiver dentro do campo de ação destas ondas e elas puderem alcançar seus ouvidos, pode ocorrer um estímulo e a pessoa sentir algo, conforme sugere a figura 2.

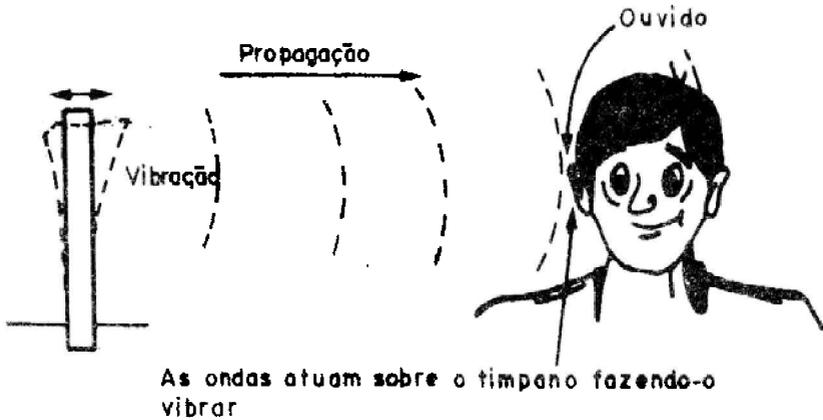


Figura 2 – A sensação de som

Dizemos “pode” porque é preciso que estas ondas tenham ainda algumas características importantes que passamos a analisar.

A primeira coisa importante que devemos observar é a frequência destas vibrações. Se elas forem muito lentas nada ocorre, pois existe um limite para o que nossos ouvidos podem sentir.

É preciso que as vibrações ocorram pelo menos na razão de 16 por segundo. Dizemos então que estas vibrações ocorrem numa frequência de 16 Hertz (abreviamos por Hz).

Estas ondas já podem excitar nossos ouvidos e temos a sensação do que se chama som. Entramos, pois nos 16 Hz na faixa das vibrações que conhecemos por sons.

Diante do corpo que vibra nesta frequência ou acima dela, perceberemos claramente que ele está emitindo som.

À medida que aumentamos o número de vibrações do corpo, notamos que algo ocorre com o som, ou seja, o nosso ouvido consegue diferenciar a frequência. O som que inicialmente era grave passa ao que chamamos de médio e depois se torna agudo.

A figura 3 mostra as diferentes faixas ou alturas correspondentes aos sons.

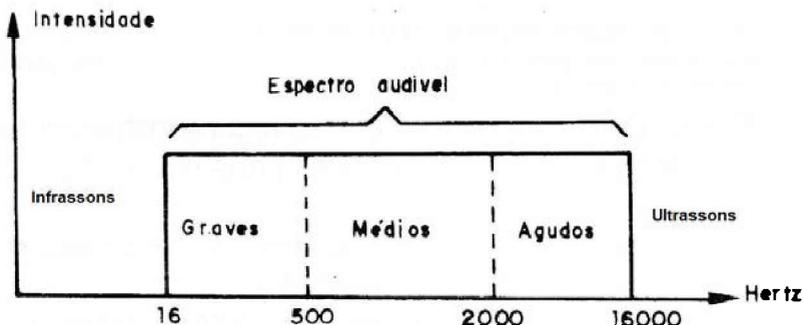


Figura 3 – O espectro audível

Na figura 3 temos então todas as frequências que podemos ouvir começando em torno de 16 Hz e terminando em torno de 16 000 Hertz ou 16 quilohertz que abreviamos por 16 kHz.

Obs. Em algumas publicações a faixa audível é definida como a compreendida entre 20 e 20 000 Hz.

Na verdade, este limite superior da capacidade de audição varia de pessoa para pessoa, podendo algumas chegar até mesmo aos 18 ou 20 kHz, e conforme a idade, já que as pessoas mais velhas vão perdendo a capacidade de ouvir os sons mais agudos; ou de frequências mais altas. Este conjunto de todas as frequências que ouvimos recebe o nome de "espectro audível".

### Sons intensos

Um problema comum para o qual nem todos atentam é que, submetendo-se a sons intensos de forma constante a audição das pessoas pode ficar alterada. Assim, é comum que pessoas percam a audição por trabalharem em locais barulhentos ou mesmo por ouvirem música com altos volumes durante muito tempo.

Nosso ouvido é um sensor muito sensível e variações muito pequenas da frequência podem ser percebidas. A divisão das frequências das notas musicais em oitavas leva justamente em conta esta percepção que temos de sons de frequências diferentes.

Se aumentarmos em um oitavo o valor de um som, ele já soa de maneira diferente para nós, ou seja, como outra nota.

Assim, se tivermos um som de 800 Hertz e outro de 880 Hertz nossos ouvidos diferenciam estes sons como de notas musicais adjacentes. Já, se a frequência dobrar, o que nos leva a passar para outra oitava, nossos ouvidos percebem os sons como a mesma nota, mas uma bem mais aguda que a outra e por incrível que pareça, elas combinam. Veja a figura 4.

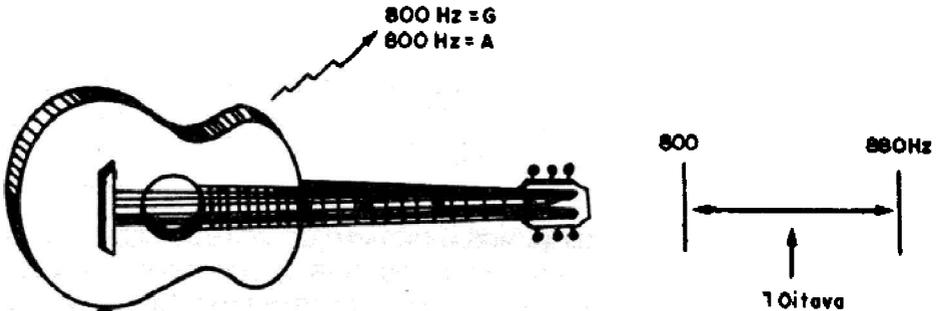


Figura 4 – A oitava

Veja então que uma primeira característica importante dos sons é a sua frequência, que vai nos dizer se o som é grave, médio ou agudo.

Se vamos usar recursos eletrônicos para reproduzir sons, é muito importante que ele seja capaz de cobrir toda a faixa que podemos ouvir. Esta característica está especificada na faixa de reprodução e deve ser tanto mais ampla quanto melhor for o equipamento considerado.

Se um amplificador "cortar" as baixas frequências, por exemplo, em torno de 100 Hz, tudo que estará entre 16 e 100 Hz deixará de ser ouvido e existem muitos instrumentos que produzem sons nesta faixa e que seriam perdidos na hora que tentássemos ouvir uma fita ou disco que os contivesse.

Tubas, órgãos e baixos, são apenas alguns instrumentos que podem ser prejudicados por um equipamento que não tenha uma boa "resposta" de graves.

Quando usar um equalizador gráfico, por exemplo, o leitor pode aproveitar muito bem estas propriedades:

Ao ouvir música orquestrada, levante a curva nas extremidades reforçando os graves e os agudos e mantendo normais os médios.

Ao ouvir cantores aumente os médios e abaixe os graves e agudos, para aumentar a inteligibilidade e fazer "aparecer" mais o cantor.

## Equalizadores

Saber utilizar corretamente um equalizador num sistema de som é algo que nem todos sabem, tendo por consequência reproduções prejudicadas, como a da voz de locutores em ambientes grandes que soam de forma que ninguém entende o que eles falam. Exploraremos este assunto no momento oportuno.

## 1.2 - Os Infrassons e os Ultrassons

Se as vibrações de um corpo ocorrerem numa "velocidade" relativamente pequena, algumas por segundo apenas, mesmo incidindo na membrana sensível de nossos ouvidos que é o tímpano, elas não conseguirão excitá-lo a ponto de haver a transmissão de um sinal ao nosso cérebro.

Isso significa que elas estão numa frequência abaixo do que podemos ouvir.

Essas vibrações, pela sua frequência, são denominadas infrassons. Sua posição no espectro é mostrada na figura 5.

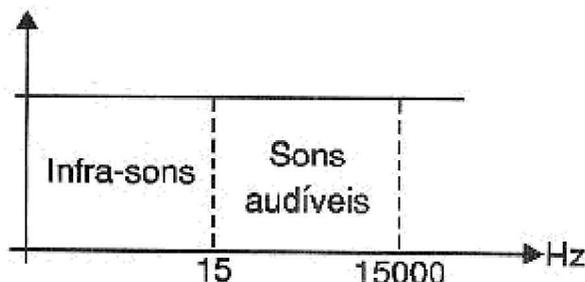


Figura 5 – O espectro audível e os infrassons

Conforme vimos, essas vibrações transportam energia e por isso, possuem poder de destruição.

Num terremoto, as vibrações desta faixa de frequência causam grande destruição quando se propagam pela terra podendo assim ser sentidas, mas não ouvidas.

### Animais sensíveis aos infrassons

Existem animais que “percebem” vibrações de muito baixas frequências. Em determinados países a observação do comportamento de certos animais sensíveis à vibrações de baixas frequências pode servir de alertas contra terremotos. Os elefantes, em especial, podem ajudar na detecção desses fenômenos.

O ponto em que elas começam a ser ouvidas está em torno de 15 hertz. É preciso que a nossa barra de metal imaginária vibre pelo menos 15 vezes por segundo para que as ondas de compressão e descompressão que cheguem aos nossos ouvidos os estimulem.

A sensação transmitida ao cérebro será a de um som contínuo muito grave, um zumbido.

Aumentando mais e mais as vibrações, e passando a faixa que podemos ouvir, entretanto, verificamos que as pessoas, segundo suas idades, características pessoais e até mesmo eventuais doenças, vão deixando de ouvir o som que está sendo emitido.

O limite exato em que deixamos de ouvir as vibrações varia bastante de pessoa para pessoa, mas na média está em torno de 15 000 Hz (15 000 vibrações por segundo).

Teremos então percorrido todo o espectro audível, ou seja, toda a faixa de frequências que corresponde às vibrações que podemos ouvir. No entanto, passando dos 15 000 Hz a barra de metal ainda pode vibrar. Estas vibrações já não serão mais audíveis, pois estão além de nossa capacidade de percepção.

A barra estará produzindo então ultrassons. Observe a figura 6.

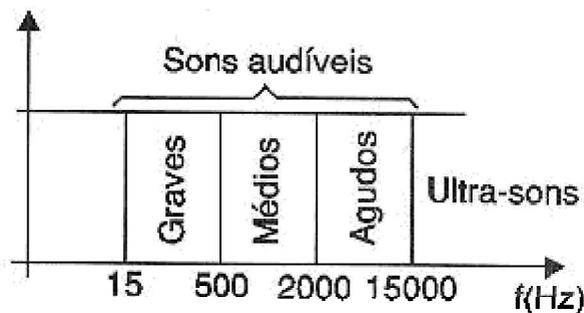


Figura 6 – Os ultrassons

## Limites

Já vimos que os limites das faixas são aproximados.

Não existe limite conhecido para até onde a barra de metal poderá vibrar. Existem dispositivos que podem gerar ultrassons de milhões de hertz, ou seja, muitas oitavas acima do nosso limite auditivo e que, portanto, não têm ouvidos por ninguém.

Mas, o interessante é que no mundo animal existem espécies que podem ter ouvidos capazes de alcançar frequências que o ouvido humano não consegue, conforme mostra a figura 7.

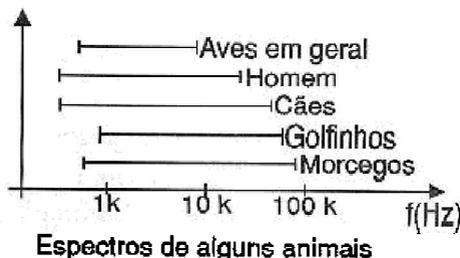


Figura 7 – Alguns animais podem ouvir os ultrassons

Assim, o que é ultrassom para nós, pode não ser para (humanos) outras espécies animais.

Podemos citar como exemplo os cães que, em alguns casos, podem ouvir vibrações de até 25 000 Hz, alcançando assim frequências que nós não logramos perceber.

Quantas vezes seu cãozinho levantou as orelhas sobressaltado percebendo alguma espécie de som quando você não ouviu absolutamente nada?

Animais como os morcegos e até mesmo os golfinhos, podem usar os ultrassons com finalidades muito mais complexas do que a simples comunicação.

## Utilizando os ultrassons

Animais como os morcegos utilizam os ultrassons num sensível sistema de orientação e detecção de objetos. O sonar.

### 1.3 - Características

Conforme já demos a entender, o som precisa de um meio material para se propagar. Isso significa que no vácuo ele não se propaga.

Por outro lado, nos diferentes meios, sólidos, líquidos e gases sua velocidade varia.

No ar a velocidade de propagação do som é da ordem de 340 metros por segundo. Na água esta velocidade para perto de 1 200 metros por segundo e num sólido como o aço esta velocidade se aproxima dos 5 000 metros por segundo. A figura 8 ilustra o que ocorre.

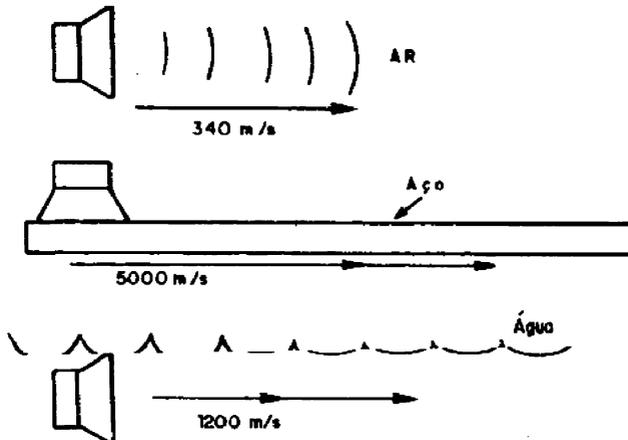


Figura 8 – Velocidade do som em diferentes meios

A tabela abaixo mostra a velocidade do som em alguns meios.

Líquido	Temp. (°C)	Velocidade (m/s)
Acetona	20	1 192
Benzeno	20	1 326
Álcool etílico	20	1 180
Glicerina	20	1 923
Mercúrio	20	1 451
Álcool metílico	20	1 123
Água comum	25	1 497
Água do mar	17	1 510 a 1550 (*)
Água pesada	25	1 399
Gasolina	34	1 250

(\*) Os valores variam conforme a densidade.

Mesmo no ar ambiente, a velocidade de propagação depende tanto da temperatura como da pressão.

Na tabela abaixo damos os valores das velocidades para diversas temperaturas.

Temperatura (centígrados)	velocidade (m/s)
- 10 graus	330
0 grau	332
+ 10 graus	337
+ 20 graus	343
+ 30 graus	350
+ 100 graus	390
+ 500 graus	550
+ 1000 graus	700

Veja que a velocidade do som é pequena quando comparada com a velocidade da luz ou das ondas de rádio.

As ondas sonoras podem refletir-se em objetos de determinadas dimensões e, além disso, podem contornar objetos pequenos.

Se o som de sua sala estiver ruim isso pode ser devido a presença de certos objetos que refletem ou absorvem estes sons.

Verifique se a mudança de um móvel, uma cortina ou mesmo fechando e abrindo uma porta não ocorrem melhorias.

Se levarmos em conta a frequência de um som e sua velocidade chegamos a um conceito muito importante para o estudo dos sons: comprimento de onda.

Supondo que as ondas tenham máximos e mínimos de compressão podemos representar isso por meio de uma curva suave denominada senóide, conforme mostra a figura 9.

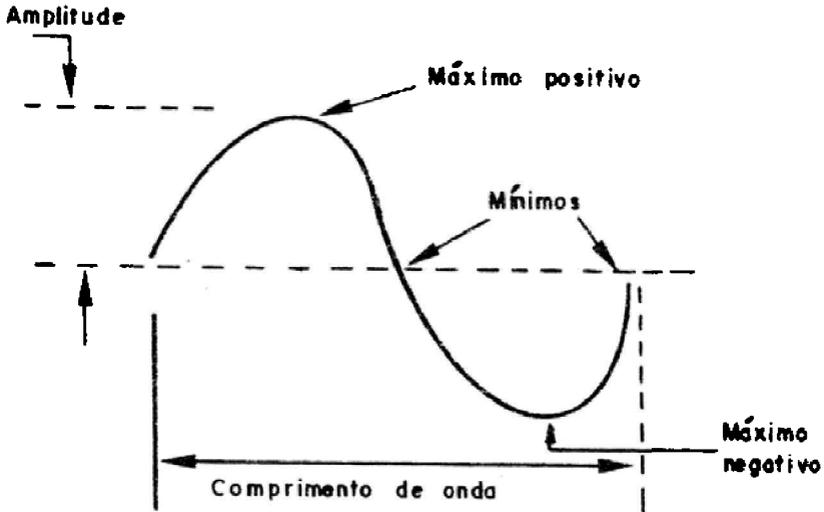


Figura 9 – A senoide

Na propagação a distância entre dois máximos ou dois mínimos nos dá o comprimento de onda. Podemos calcular o comprimento de onda de um som qualquer dividindo sua frequência ( $f$ ) por sua velocidade de propagação ( $v$ ).

Assim, o comprimento de onda de um som de 3 400 Hz é de 0,1 metros ou 10 centímetros.

Veja que, quanto maior for a frequência de um som menor será seu comprimento de onda. Os sons agudos possuem comprimentos de onda menores que os sons graves.

### Vácuo

O som não se propaga no vácuo. Assim, os sons de explosões e tiros que vemos nos filmes de ficção que ocorrem no espaço, são mera ilusão, acrescentados à trilha sonora apenas para produzir efeitos sobre a plateia. Na realidade, no espaço, o silêncio é absoluto.

Outra característica importante dos sons é a intensidade.

Se as vibrações do corpo tiverem uma pequena amplitude, isto é, se o corpo fizer um movimento de vai-e-vem dentro de um espaço pequeno, as ondas sonoras produzidas serão fracas, ou seja, terão pequena amplitude ou intensidade conforme dado na figura 10.

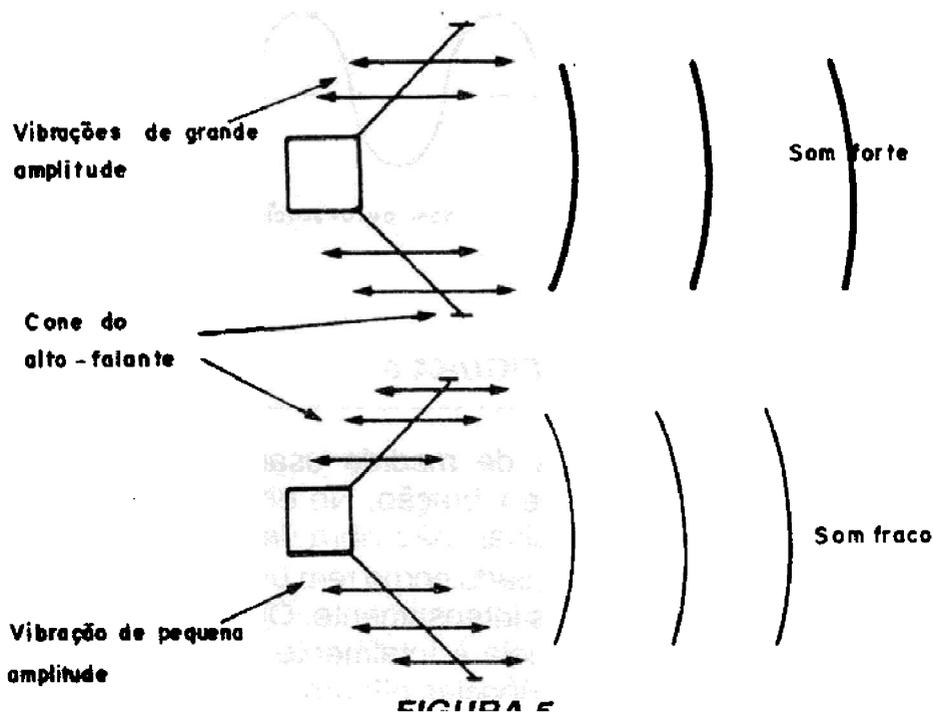


Figura 10 – A intensidade do som é dada por sua amplitude

Por outro lado; se as vibrações tiverem uma amplitude maior, o som será mais forte ou mais intenso. Quando aumentamos o volume de um amplificador, o que estamos fazendo é aplicar mais potência no alto-falante de modo que ele vibra com maior intensidade.

O som reproduzido é o mesmo no que se refere a sua frequência e outras características, de modo que a voz de uma pessoa ou uma nota determinada de um instrumento musical não se altera. Ela apenas aparece mais fraca ou mais forte.

A energia consumida de um aparelho de pilhas depende do volume. Usando seu gravador, rádio ou walkman com mais volume as pilhas gastam mais rápido.

Veja então que altura e intensidade de um som são coisas diferentes: enquanto a altura se refere à frequência, a intensidade se refere a amplitude.

## Altura e Volume

Lembre: altura é a característica dada pela frequência. Um som é mais alto quando sua frequência é maior (mais agudo). A intensidade ou volume são dados pela amplitude ou potência. Um som mais forte que outro tem mais intensidade ou maior volume.

A terceira característica importante de um som é o timbre.

O que nos faz diferenciar uma voz feminina de uma masculina quando pronunciam a mesma letra do alfabeto? O que nos faz diferenciar um violão de uma flauta quando ambos tocam a mesma nota musical, se nestes casos os sons têm as mesmas frequências?

O que ocorre é que a forma de vibração dos sons de instrumentos musicais, da nossa voz e de cada objeto pode variar mesmo que os sons emitidos tenham as mesmas frequências.

A forma ideal de vibração é aquela em que temos uma variação suave dos movimentos representada por uma figura chamada senóide e que é mostrada na figura 11.

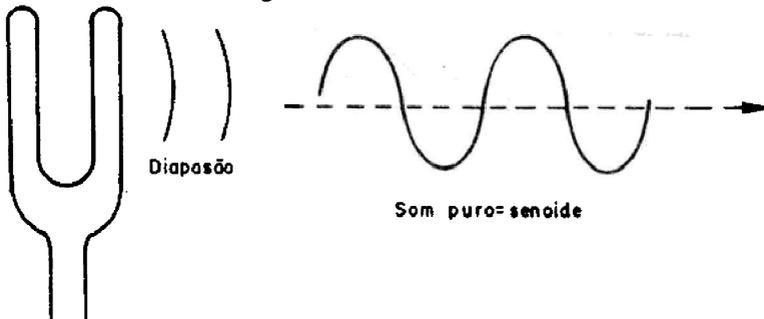


Figura 11 – Forma de onda de um som puro

## O Diapasão

O diapasão é um dispositivo que se destina à produção de sons de uma única frequência. Essa frequência é determinada pelo seu formato, por suas dimensões e pelas características do material de que ele é feito. Os diapasões encontram sua maior utilidade na afinação de instrumentos musicais, gerando uma nota padrão normalmente o LA de 440 Hz, conforme mostra a figura 12.

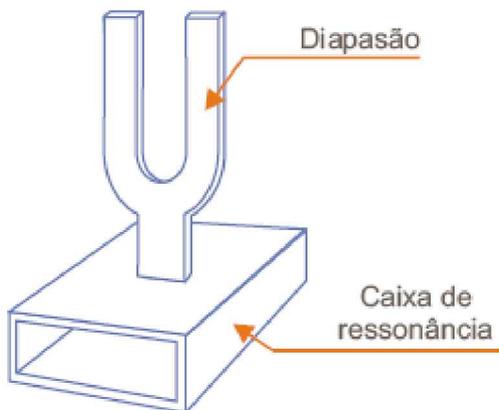


Figura 12 – Um diapásio

Aparelhos eletrônicos de medida usados nos laboratórios podem produzir esta forma de vibração. No entanto, nossa voz e a maioria dos instrumentos musicais não vibram desta forma.

O que acontece é que cada corpo tem uma frequência própria em que ele tende a vibrar mais intensamente. Quando batemos numa garrafa vazia, com metade cheia e totalmente cheia vemos que ela vibra produzindo sons de frequências diferentes.

Da mesma forma, uma corda de um violão além de vibrar numa determinada frequência que depende de sua espessura e de seu comprimento, ela também tende a produzir sons de frequências múltiplas da original que são chamados de harmônicas.

Assim, ao tocar na corda de um violão não só produzimos sons de frequência  $X$  como também  $2X$ ,  $3X$ ,  $4X$  e assim até o infinito.

Estas frequências em maior ou menor quantidade se combinam e resultam num som cuja forma de representação ou forma da onda não é mais a senóide.

Na figura 13 temos alguns exemplos de formas de ondas que encontramos para uma mesma frequência.

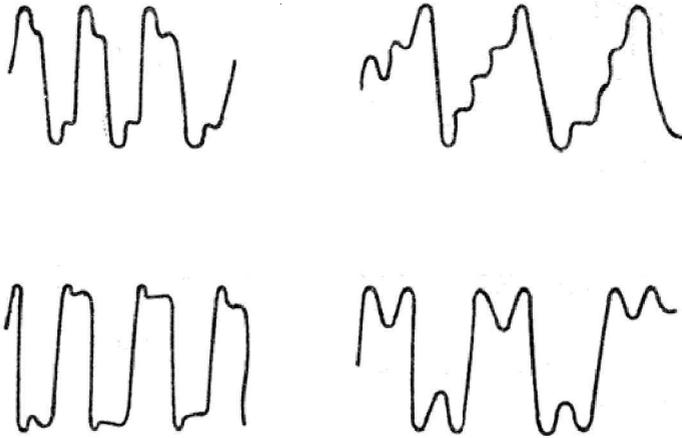


Figura 13 – Formas de onda de sons de timbres diferentes

Nossos ouvidos conseguem perceber as diferenças dessas formas de onda na forma do que chamamos “Timbre”. Esta é, pois a característica de um som que nos permite diferenciar dois instrumentos diferentes mesmo quando eles tocam a mesma nota.

Um aparelho de som precisa ser fiel na reprodução não só da frequência original de um som como também suas harmônicas (que às vezes vão além do limite audível) para preservar a fidelidade.

Se você usar amplificadores de má qualidade no máximo de volume os sinais tendem a deformar. Mesmo nos bons aparelhos, no máximo volume a distorção é maior do que em volumes intermediários. Evite, pois usar seu equipamento de som no máximo de volume.

#### **Potência e distorção**

Percebe o leitor que um amplificador não é melhor que outro apenas por ter mais potência. A qualidade de um amplificador é dada pela sua capacidade de reproduzir os sons sem distorção, ou seja, por sua linearidade ou fidelidade.

## **1.4 - Propriedades**

Vejamos alguns fenômenos importantes que ocorrem com as ondas sonoras e que são importantes por influírem no desempenho de equipamentos de som.

O primeiro fenômeno a ser analisado refere-se à reflexão do som, que pode dar origem a dois tipos de efeitos.

Se a reflexão do som ocorrer num objeto que está a mais de 17 metros da sua origem, a pessoa que se encontrar neste local pode distinguir o som que sai da fonte do que retorna, ouvindo-os separadamente. Temos então a repetição do som ou eco. Na figura 14 mostramos o que acontece.

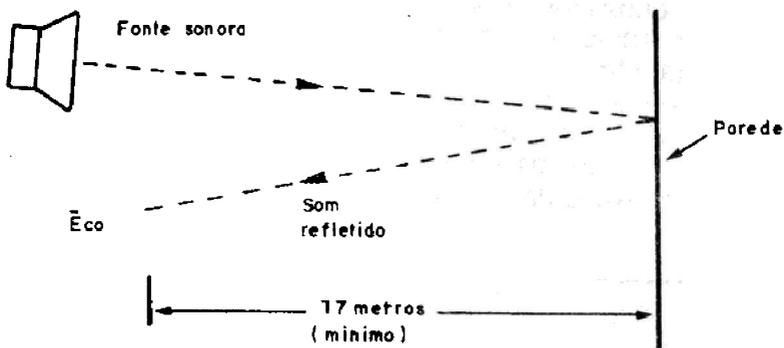


Figura 14 – O eco

Por que 17 metros? Ocorre que os nossos ouvidos só podem distinguir dois sons se eles estiverem separados por um tempo mínimo da ordem de 0,1 segundo e este é o tempo que a onda leva para percorrer 34 metros, ou seja, 17 metros para ir e 17 metros para voltar.

Se o obstáculo estiver a menos de 17 metros o tempo será inferior a 0,1 segundos e não mais conseguiremos separar o som que vai do que volta.

Temos então uma espécie de prolongamento do som que denominamos reverberação, que ocorre de maneira mais acentuada quando temos diversas reflexões.

Um exemplo disso pode ser observado num som de "catedral" ou outro grande ambiente onde temos diversas reflexões.

As reflexões prejudicam a qualidade do som, dificultando o entendimento da palavra. Por este motivo, os teatros devem ser construídos com uma acústica tal que absorva o som de todas as direções evitando assim as reflexões. Na figura 15 damos uma ideia da acústica de um teatro.

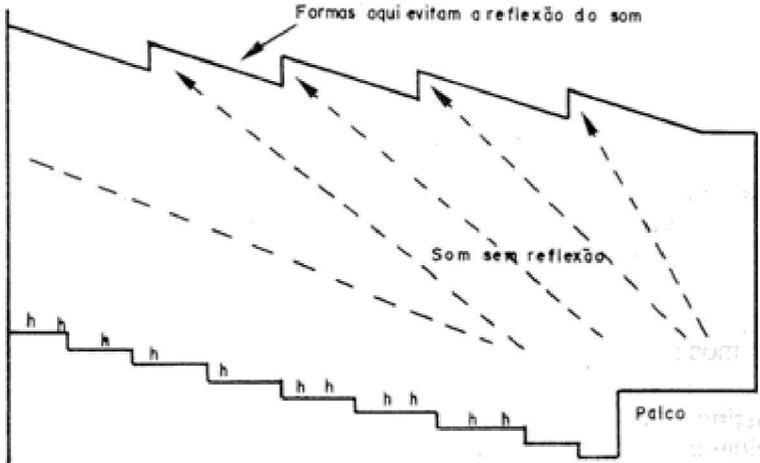


Figura 15 – A acústica de um teatro

As câmaras de eco são aparelhos que retardam os sons eletronicamente obtendo-se assim o efeito de eco. Estas câmaras são utilizadas juntamente com os aparelhos de som.

#### **Efeito de eco**

Conforme veremos mais adiante é possível adicionar aos amplificadores circuitos que retardam os sinais e o misturam aos sinais originais, obtendo-se assim o eco. Mais adiante veremos como funcionam.

#### **1.4.1 - Câmara Anecóica**

No teste de equipamentos de som, alto-falantes, microfones, etc., é necessário que estes dispositivos sejam colocados num ambiente livre de qualquer tipo de eco, devido a reflexões e outros problemas que podem ocorrer pela sua arquitetura.

Assim, os testes de tais equipamentos e dispositivos são feitos em câmaras especiais em que não existem problemas de reverberação, eco e onde a absorção do som pelas suas paredes é total.

Estas câmaras são chamadas "anecóicas". Na foto temos exemplo de uma dessas câmaras.



Foto: NRC Institute for Microstructural Sciences (NRC)

### **Reflexões em sua sala**

Os móveis e objetos de sua sala ou quarto, e até mesmo as cortinas e tapetes podem refletir os sons de forma indevida, afetando a qualidade do som. Você pode estranhar que aquele amplificador que tinha som puro na loja, não apresenta o mesmo desempenho quando funcionando em sua casa.

### **Questionário**

1 - A velocidade do som no vácuo é:

- a) 340 m/s
- b) 300 000 km/s
- c) 1 500 m/s
- 4) O som não se propaga no vácuo

2 - Na água a velocidade do som é:

- a) Menor do que no ar
- b) Maior do que no ferro
- c) Maior do que no ar
- d) Igual a velocidade de propagação no ar

3 - Podemos definir eco como um fenômeno de:

- a) Reflexão do som
- b) Refração do som
- c) Dispersão do som
- d) Retardo de propagação do som

4 - Para haver eco o obstáculo no qual se reflete o som deve estar a pelo menos:

- a) 1 km
- b) 340 m
- c) 34 m
- d) 17 m

## Lição 2 - Ruídos e a Medida dos Sons

Nesta lição você vai estudar o que são ruídos e como eles são produzidos. Também verá como o som tem sua intensidade medida, isso aplicado aos amplificadores.

### 2.1 - Ruído

Definimos ruído como um sinal que não tenha um padrão de frequência ou intensidade definidos.

O ruído varia de frequência de modo aleatório constantemente, assim como de intensidade. Existem vários tipos de ruído que são utilizados em aplicações envolvendo som, sendo os mais conhecidos o ruído branco e o ruído rosa.

#### Ruído branco

Os físicos definem o ruído branco como aquele que possui um espectro de frequências contínuo e uniforme numa faixa especificada de frequências. Isso significa que em qualquer ponto da faixa considerada temos igual potência por hertz.

Uma outra forma de definir um ruído branco aditivo gaussiano é: "aquele o que tem uma função de auto-correlação igual a zero em todos os pontos, exceto no zero", e que também é chamado de Ruído de Johnson.

Na figura 16 temos uma representação simplificada do que seria o ruído branco numa faixa de frequências entre  $f_1$  e  $f_2$ .

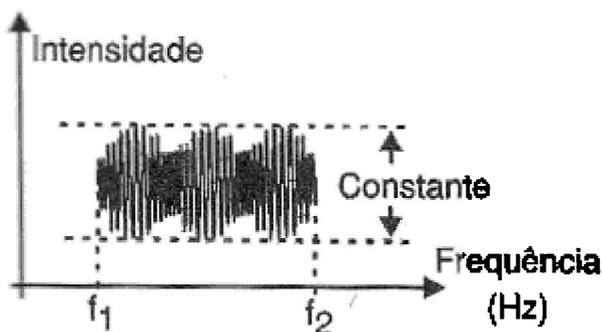


Figura 16 – Espectro de um ruído branco

Os ruídos brancos são gerados naturalmente por diversos tipos de dispositivos eletrônicos e mesmo por fenômenos naturais.

A agitação térmica dos átomos num material condutor ou semicondutor libera portadores de carga aleatoriamente, produzindo ruído branco. Qualquer componente eletrônico que esteja a uma temperatura acima do zero absoluto gera estes portadores produzindo assim ruído branco.

Descargas estáticas na atmosfera geram pulsos de frequências indeterminadas ocupando de forma aleatória o espectro eletromagnético causando assim ruído branco.

O ruído que ouvimos quando sintonizamos um rádio entre estações é o ruído branco causado por estas descargas somado ao ruído provocado pela agitação térmica dos próprios componentes do circuito.

### **Estática**

Antigamente, os profissionais das telecomunicações costumavam denominar o ruído causado pelas descargas atmosféricas na recepção de sinais de rádio de "estática".

Resistores, diodos, transistores e muitos outros componentes eletrônicos podem gerar ruído branco em maior ou menor quantidade.

### **Ruído rosa**

O ruído rosa se diferencia do ruído branco pelo fato de que a intensidade média vai se tornando menor à medida que a frequência aumenta, conforme mostra a figura 17.

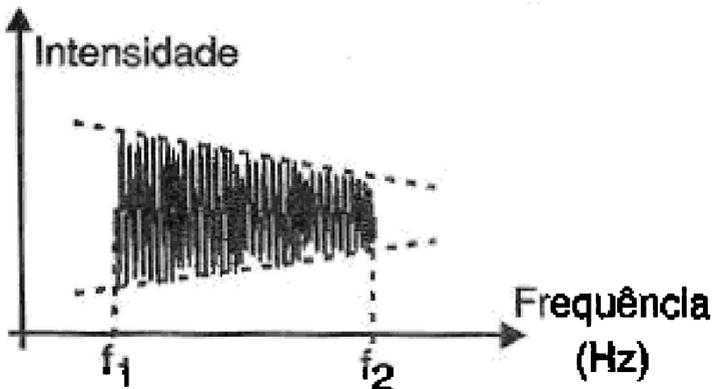


Figura 17 – Espectro do ruído rosa

### **Fenômenos periódicos**

Os sons são fenômenos periódicos, pois possuem uma frequência e forma de onda definidas, o que não ocorre com os ruídos. Desta forma, como outros fenômenos peri[ódicos, os sons podem ser representados por equações em que aparecem como termos a frequência fundamental e suas harmônicas, Mais sobre o assunto, o leitor pode encontrar em nosso de Telecom - Radiocomunicações em falamos de Fourier.

## **2.2 - Roncos e Zumbidos e outros ruídos**

Outras formas de ruídos ou anomalias de um são encontradas nos equipamentos de som, tendo diversas origens.

Estes ruídos ou anomalias, pois alguns não podem ser definidos como ruídos por terem frequências fixas, recebem as mais diversas denominações que o leitor deve conhecer. Analisemos alguns deles:

### **Ronco ou zumbido**

É o som de baixa frequência que é reproduzido quando um amplificador ou circuito de som capta a frequência da rede de energia, no nosso caso 60 Hz ou 120 Hz. No caso do 120 Hz ele ocorre quando o ruído de uma retificação de uma fonte de onda completa é captado.

O termo "hum" é encontrado em documentação técnica em inglês para definir este som.

### **Ronco**

Na verdade, não podemos dizer que o ronco ou zumbido de baixa frequência consiste num ruído, pois ele tem uma frequência fixa.

### **Ruído de superfície**

Som desagradável reproduzido nos alto-falantes de um sistema que opera com toca-discos para discos de vinil, quando a agulha do

fonocaptor encontra partículas de sujeira ou ainda riscos nos discos. Também conhecido pelo termo inglês "scratch".

### **Wow ou Uáu**

Distorção de baixa frequência do som obtido de um toca-discos de vinil quando a velocidade do motor varia. É uma espécie de modulação do som que altera levemente sua frequência, conforme a velocidade do motor varia.

Também denominado "flutter"(flutuação) em documentação técnica em inglês.

### **Chiado ou Blasting**

Tipo de distorção que ocorre nos circuitos de áudio quando são saturados, ou seja, o sinal de entrada é maior do que a intensidade máxima admitida, ocorrendo uma deformação. O blasting é como o "arranhar" de um som.

Quando tratarmos dos alto-falantes veremos outros termos que se referem especificamente a problemas com o som reproduzido por estes transdutores.

## **2.3 - Mais características dos sons – Características Fisiológicas**

**Excesso de Volume - Cuidado! Seus ouvidos podem estar comprometidos!** - (De um artigo do autor)

Mais uma vez, ouvindo uma reportagem no rádio de meu carro, nestes dias do começo de julho de 2011 o assunto som alto demais como perigo para a audição das pessoas foi abordado por uma fonoaudióloga.

Não é de hoje que me chama a atenção o modo como os jovens, principalmente costumam ouvir música.

Antigamente nas discotecas e casas noturnas e com os amplificadores de áudio cada vez mais potentes e mais recentemente com os equipamentos portáteis como os iPods, MP3, celulares e outros.

Som no último volume com dBs que podem ser percebidos à metros de distância. O que mais me preocupa com este comportamento não é simplesmente a alienação que o ouvinte tem em relação ao mundo exterior, pois ele deixa de ouvir os sons ambientes, o que pode representar perigo em certas circunstâncias.

Muito mais do que isso, se o leitor tem esse costume pode estar ficando com seu ouvido irremediavelmente comprometido.

E vale o alerta para seus filhos e amigos. É o que revelam os relatórios médicos que constataam que a maioria dos jovens já sofre de

problemas de audição, causados pelo hábito de ouvir música com volume elevado demais.

Atenção especial é exigida de todos, principalmente dos pais que têm filhos que usam de modo descontrolado os tocadores de música com fones de ouvido.

Na verdade, o fato não é recente, conforme já salientamos. Um documento emitido pelo governo da Suécia há mais de 20 anos revelou que, examinando jovens que serviriam o exército, constatou-se que mais de metade estava com a audição comprometida de modo irreversível pelo hábito de freqüentar discotecas, onde o volume da música era excessivo.

Hoje, o problema continua e, infelizmente, não existe uma legislação que proíba a potência excessiva dos equipamentos de som em shows e outros locais, preocupando-se antes, com o excesso de barulho em recintos de trabalho e outros locais.

A coisa é muito mais perigosa do que parece. Um simples fone de ouvido pode afetar sua audição pelo resto de sua vida e você não está percebendo isso.

Conversando com um médico especialista em medicina ocupacional, ele me informou que uma boa parte dos jovens que se candidata à empregos em locais ruidosos, como fábricas e oficinas, está sendo reprovada por terem seus ouvidos com uma degradação que ocorre normalmente com os operários de tais empresas depois de 20 anos.

Se eles já estão assim agora, como estarão daqui á 20 anos! Não passam nos testes.

Se você tem o costume de ouvir música alta, seus ouvidos estão gradativamente se deteriorando. E quando você perceber pode ser tarde demais para se fazer alguma coisa.

O que ocorre é que nossos ouvidos são uma maravilha da natureza, projetados para ter uma curva de resposta logarítmica.

O que é isso? Eles estão perfeitamente adaptados para o ambiente em que vivemos. Têm uma alta sensibilidade aos sons baixos, permitindo-nos ouvir o simples ruído das folhas quando alguém caminha sobre elas, e ao mesmo tempo baixa sensibilidade aos sons fortes, como uma trovoada ou uma explosão, protegendo-nos contra a dor que esses sons causariam.

A resposta dinâmica de nossos ouvidos abrange 100 dB, ou sons que estão numa faixa de intensidades de 1 a 10 000 000 !

O problema maior é que, a intervenção da tecnologia está tornando a faixa dinâmica dos nossos ouvidos inadequada aos sons que passamos a encontrar no nosso meio ambiente e um deles é justamente a música tocada alta.

Os sons acima de 100 dB que são alcançados pelos fones de ouvido

dos tocadores de música (players) e outros ambientes podem causar problemas graves que vão desde a perda gradual da capacidade auditiva até a redução da tolerância aos sons.

As pessoas passam a sentir dor mesmo com sons baixos, passam a ouvir sons distorcidos, chiados e pequenos estalos.

Para que o leitor tenha uma ideia de onde chegamos, basta dizer que uma simples conversação chega aos 60 dB, enquanto que no volume 5 de um aparelho de som, a música chega a 85 dB de intensidade o que pode causar danos irreversíveis com apenas 1 dia de audição”.

Um tiro chega a 150 dB enquanto que um motor de jato a pequena distância chega a 130 dB.

Um som de 95 dB, que corresponderia ao máximo de um equipamento de som, causa danos irreversíveis com apenas 1 hora de audição enquanto que para 100 dB bastam 15 minutos de exposição, segundo tabela elaborada pelo NIOSH (\*\*).

Aparelhos modernos como iPod já possuem recursos que permitem aos usuários, principalmente pais quando o aparelho é usado por crianças, estabelecer o volume máximo para a música, mas e para os próprios pais que não observam isso, também ouvindo som alto demais, como fica?

Comece a se policiar. Se você tem o costume de ouvir música alto, por muito tempo, verifique se sua audição está normal.

Se a conversa de seus amigos começam a ter um tom esquisito e distorcido, as pessoas precisam falar mais alto quando conversam com você e os sons comuns de seu ambiente, mesmo de coisas comuns lhe incomodam, que tal um exame de audiometria. Você já pode ter sido afetado.

## **2.4 - Som estereofônico**

Nosso sistema auditivo tem a faculdade de distinguir a direção de onde vem um som pela pequena diferença de tempos segundo a qual um sinal vindo obliquamente atinge os dois ouvidos.

A figura 18 mostra o que ocorre.

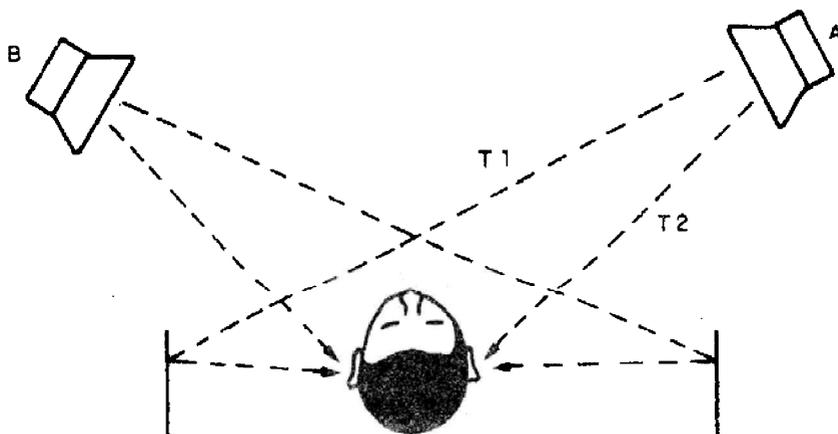


Figura 18 – Diretividade de nosso sentido auditivo

Isso fornece ao ouvinte também o sentido de profundidade: com uma avaliação subjetiva da distância de onde vem o som.

#### **Sentido de profundidade**

Não temos dois ouvidos à toa. Este recurso de nosso sistema auditivo nos permite avaliar, não apenas a direção de onde vem um som, mas sua distância.

Este efeito é explorado nos sistemas estereofônicos.

Fazendo a reprodução de um som através de um alto-falante temos apenas uma direção de onde vem este som e com isso não conseguimos o sentido de profundidade.

Por outro lado, se o som for reproduzido a partir de duas fontes separadas, temos a possibilidade de receber sinais de fontes de direções diferentes e o ouvido interpreta isso com a sensação de profundidade e envolvimento. Na figura 19 mostramos o efeito estéreo.

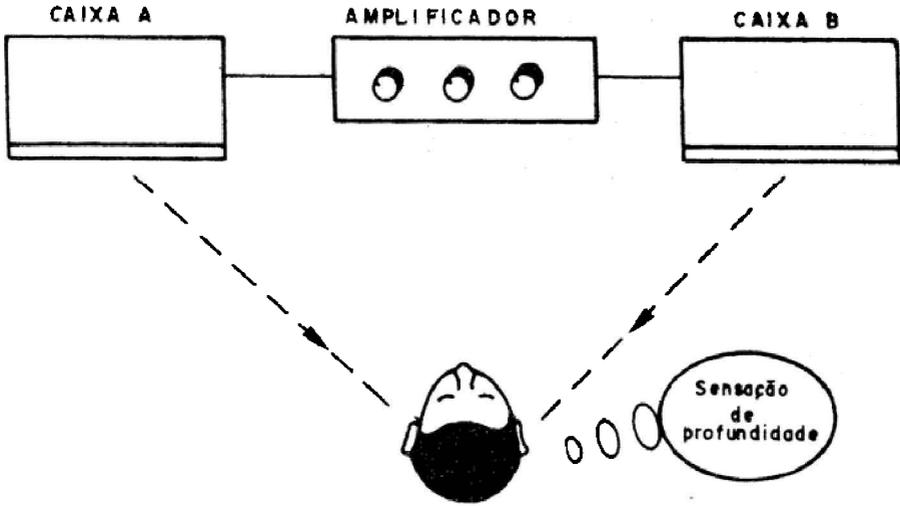


Figura 19 – O efeito estéreo

Entretanto, para termos este efeito, não basta usar dois alto-falantes separados ligados numa mesma fonte de programa. E preciso que os sons sejam também separados quanto à posição real no aparelho. Assim, os sistemas estereofônicos não diferem dos monofônicos simplesmente pelo uso de duas caixas acústicas ou alto-falantes.

Na verdade eles possuem circuitos internos ou canais separados e devem trabalhar com gravações ou sinais que originalmente sejam estereofônicos. A figura 20 mostra um amplificador estéreo.

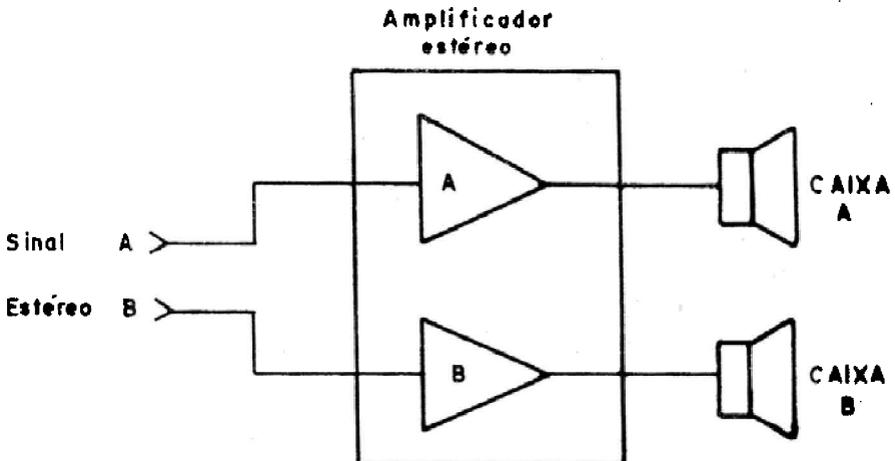


Figura 20 – Um amplificador estereofônico

Altere as posições de suas caixas, separando-as ou unindo-as para ver como o efeito estéreo se acentua. Escolha a melhor posição.

Use sempre caixas exatamente iguais para que não ocorram diferenças de intensidade na reprodução.

## **2.5 - A medida do som**

Existe uma preocupação muito grande com a potência dos equipamentos de som, se bem que esta não seja a única medida que revele sua qualidade.

A potência de um equipamento de som é medida em Watts (W) e nos diz que volume podemos obter num ambiente de determinadas dimensões. Para um mesmo ambiente, um equipamento de maior potência consegue reproduzir um som com mais volume.

Procurando fornecer "valores maiores" para seus equipamentos, muitos fabricantes dão especificações de potência que parecem maiores, mas na realidade não significam um valor real.

A potência real é dada com a sigla RMS (Root Mean Square) e significa a quantidade de watts que realmente um amplificador entrega a um sistema de alto-falantes.

No entanto, podem ser usadas especificações como IHF, Musical ou Pico que na realidade dão números maiores para a mesma "quantidade de som". Um amplificador de 20 watts RMS terá 30 watts de pico, e 60 watts pico-a-pico.

E o mesmo amplificador, mas sem dúvida vendê-lo como de 60 watts é muito mais interessante do que dizer que ele tem apenas 20 watts.

É também muito importante lembrar que a potência entregue aos alto-falantes depende do volume que usamos. Se temos um amplificador de 100 watts mas só o utilizamos "baixinho", na verdade empregando apenas alguns watts, pagamos por uma quantidade de watts que não estamos usando. Um amplificador muito potente para um ambiente pequeno é simplesmente um desperdício.

Para pequenos amplificadores, gravadores, walkman e outros pequenos aparelhos de som, o desgaste das pilhas está determinado pelo volume em que os usamos.

Se um aparelho deste tipo for usado no último volume o desgaste das pilhas será muito mais rápida do que se o usarmos com médio volume ou mesmo no volume mínimo.

Uma sugestão importante para quem deseja a melhor relação custo/benefício num aparelho de som alimentado por pilhas e observar que os tipos que devem funcionar por tempos muito longos, devem

ter entradas para a rede local ou devem prever o uso de pilhas potentes (grandes) ou ainda do tipo recarregável.

Não é possível alterar a potência de um amplificador sem modificações radicais em seus circuitos, modificações que nem sempre são admitidas pelo dimensionamento da fonte e pelo próprio espaço disponível em sua caixa.

Precisando de mais potência, podemos ligar diversos amplificadores em conjunto, cada qual alimentando um par de caixas. Esta é a melhor maneira de obter maior potência final. Uma medida importante na medida da qualidade de um som é a distorção que se especifica normalmente na forma de uma porcentagem.

O que ocorre é que se um equipamento deve amplificar um som cuja onda tenha uma certa forma ele deve apenas aumentar a intensidade desta onda sem entretanto alterar sua forma. Na figura 21 temos a comparação entre sons fiéis e distorcidos.

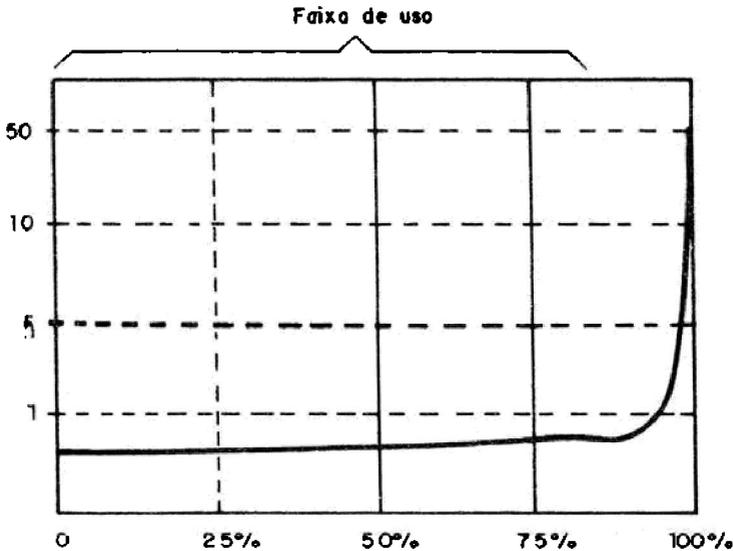


Figura 21 – a distorção

No entanto, mesmos os melhores circuitos eletrônicos não são perfeitos e uma deformação na forma do sinal ocorre.

Os ouvidos comuns começam a perceber alterações na forma de onda de um sinal quando a distorção chega a 1% aproximadamente, se bem que ouvidos mais sensíveis podem perceber até menos.

Isso significa que um bom equipamento de som deve ter uma taxa de distorção inferior a este valor.

Ocorre, principalmente nos equipamentos de som de carro, que as distorções podem chegar a valores elevados quando exigimos a máxima potência.

Assim, se queremos ter um som fiel livre de distorção é uma boa prática nunca usá-lo no máximo volume. Desta forma, ter um amplificador um pouco mais potente do que precisamos e usá-lo com uma pequena folga é uma boa prática para termos a melhor fidelidade. Veja a figura 22.

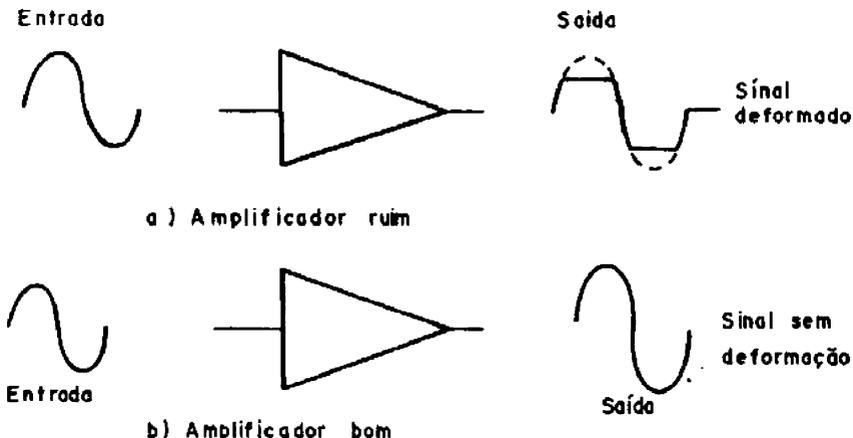


Figura 22 – Sinais com distorção

A medida da potência e da distorção é feita com a ajuda de equipamentos especiais que normalmente só são acessíveis aos laboratórios de pesquisa e das indústrias, dado seu custo elevado.

Devemos, pois consultar os folhetos de características dos equipamentos que desejamos comprar e saber interpretar suas informações.

### Qualidade de um sistema de som

Novamente ressaltamos que, muito mais que a potência, é a linearidade de um sistema de som que determina a fidelidade de sua reprodução e portanto sua qualidade.

## 2.5.1 - Medindo o Som

### POTÊNCIA DE AMPLIFICADORES - (PMPO, RMS, Pico, DIN, etc.)

A saída que fabricantes de equipamentos de áudio encontram para dizer que seus produtos são melhores, é indicar por valores cada vez maiores suas potências. Uma forma não muito ética, se bem que não seja tecnicamente incorreta, é dar as indicações em valores PMPO, que levam a números maiores.

Vejamos então como isso funciona e como é feita a medida da potência de um amplificador.

Potência é quantidade de energia por unidade de tempo. Para o caso da energia acústica, tal como a energia elétrica, podemos usar como unidade de potência o watt, que corresponde a uma quantidade de energia de 1 joule por segundo.

Tudo seria muito simples de calcular se a energia de um amplificador viesse de forma contínua, ou seja, sem variações.

Assim, para saber a potência que um amplificador produz seria suficiente multiplicar a intensidade do sinal pelo tempo em que ele se mantém, no caso, 1 segundo, conforme mostra a figura 23.

Em termos práticos, isso equivaleria à área delimitada no gráfico da mesma figura.

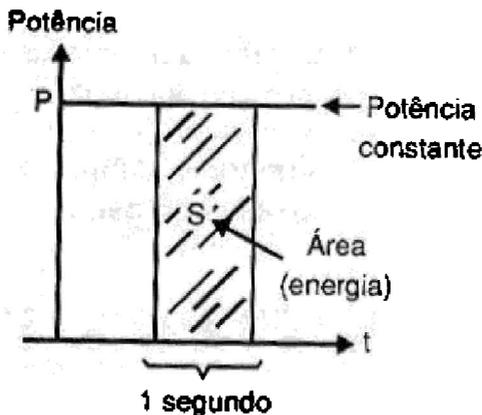


Figura 23 – Significado da potência

No entanto, na prática, os sinais fornecidos por um amplificador a um alto-falante não correspondem a uma corrente contínua, mas variam continuamente de intensidade.

Assim, se este sinal variar, como ilustra a figura 24, a quantidade de energia envolvida no processo terá um valor médio que estará entre os pontos de máximo e mínimo.

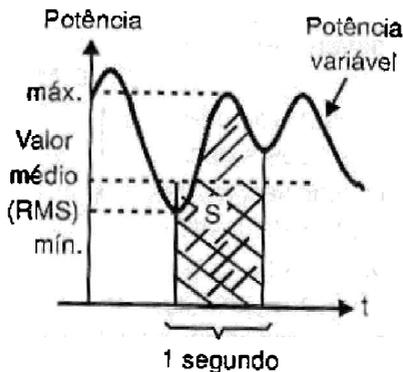


Figura 24 – Potência rms

Esta quantidade de energia equivalerá à área delimitada pela curva que corresponde ao sinal. Em termos práticos, podemos dizer que a área correspondente a esta média é a mesma que um sinal contínuo de determinada intensidade teria para envolver a mesma quantidade de energia por unidade de tempo.

Esse valor é denominado R.M.S. ou Root Mean Square (Valor Médio Quadrático), correspondendo à intensidade que deveria ter o sinal, se ele fosse contínuo, para produzir a mesma quantidade de energia do sinal que varia.

Para um sinal senoidal, por exemplo, este valor corresponde a 70,7% do valor máximo ou valor de pico, de acordo com a figura 25.

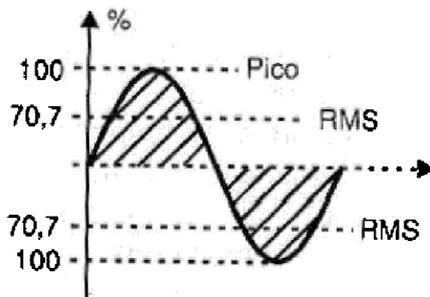


Figura 25 – Potência rms

Observe, então, que o valor R.M.S. corresponde à potência real de um amplificador, já que ele indica a quantidade de energia que realmente é aplicada a um sistema de alto-falantes para ser convertida em som.

No entanto, existem outras maneiras de se especificar a potência de um amplificador.

Um sinal de áudio varia constantemente de intensidade e de forma muito rápida, oscilando entre máximos e mínimos.

Existem, portanto, instantes em que a intensidade do sinal é muito alta, os chamados "picos" em que a potência aplicada ao sistema de alto-falantes é muito maior.

Para um sinal de áudio senoidal estes picos podem ter 1,42 (raiz quadrada de 2) vezes a potência RMS, o que resulta num valor muito maior.

Isso significa que um amplificador de 100 watts RMS pode perfeitamente ser vendido como um equipamento que tem uma potência "de pico" de 140 watts.

Outra forma, que pode ser aproveitada pelos fabricantes desejosos de vencer a concorrência com números grandes e não com qualidade, é partir da ideia de que um sinal senoidal reproduzido por um amplificador tem picos de máximos e também de mínimos, conforme mostra a figura 26.

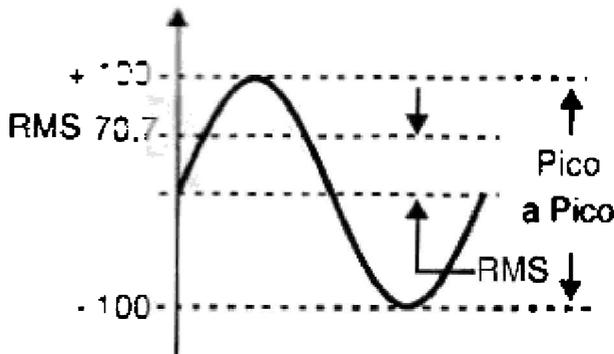


Figura 26 – potência de pico e RMS

Isso leva à possibilidade de se indicar a potência pico-a-pico, que resulta num número 2,8 vezes maior do que a potência RMS. Em outras palavras, o mesmo amplificador de apenas 100 watts RMS tem sua potência "esticada" para 280 watts pico-a-pico (pp)!

Mas, a coisa vai mais longe.

Os sinais musicais não são senoidais e podem ocorrer picos de grande intensidade que duram frações muito pequenas dos ciclos, o que pode ser visto na figura 27.

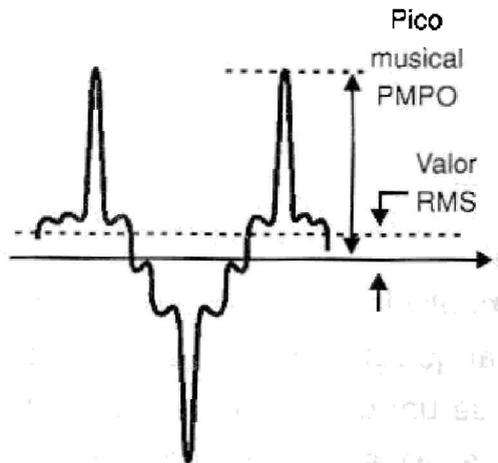


Figura 27 – Potência PMPO

Se integrados ao sinal de modo que sua energia seja somada à fornecida pelo amplificador, eles pouco significam, conforme vemos na figura 28, pois a área delimitada é muito pequena.

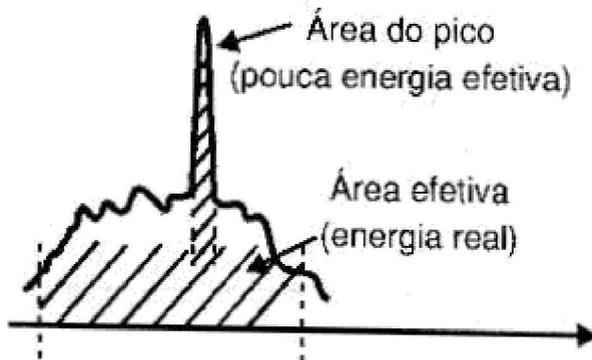


Figura 28 – Limitação da área

No entanto, por uma fração muito pequena de tempo, sua intensidade pode subir 4 ou 5 vezes o valor RMS do sinal. Em outras palavras, por um tempo imperceptível temos na saída do amplificador

uma potência muito elevada, de 4 a 5 vezes a potência RMS. Essa potência é chamada de PMPO (Peak Music Power ou Potência Musical de Pico) e pode mais uma vez fazer crescer os valores dados aos amplificadores comerciais.

Nos casos típicos esse valor significa 4 vezes a potência RMS, o que faz com que o nosso amplificador de 100 watts seja vendido como de 400 Watts PMPO!

### **Ficando esperto**

Um fato que já constatamos na prática e que mostra até que ponto os números usados pelos vendedores de equipamentos de som podem ser enganosos ocorreu quando observamos um amplificador comercial em que a potência indicada era de 200 W, havia uma plaquinha na traseira indicando que em 12 V ele drenava uma corrente de 3 A. Ora, pelas leis da física (que não podem ser mudadas pela propaganda), o consumo deste amplificador era de  $3 \times 12 = 36$  W. Como energia não pode ser criada (e além disso temos as perdas) gostaríamos de saber de onde vem o restante da energia para chegar aos 200 W!

### **DIN POWER**

Uma especificação de potência não muito usada é a definida pela norma DIN 45000.

O que acontece é que para equipamentos de uso doméstico existem três maneiras de se medir a potência: potência contínua, potência de pico e faixa de potência.

Para essa norma o que se faz é ligar resistências ôhmicas na entrada e na saída do amplificador, e aplicando um sinal de 1 kHz na entrada por pelo menos 10 minutos, com uma saída que não exceda em 1% de THD (Distorção Harmônica Total), mede-se a potência contínua. Do valor obtido, calcula-se a potência de pico.

A faixa de potência é definida como aquela em que metade da potência contínua máxima pode ser obtida.

### **2.5.2 - CONCLUSÃO**

Não se compra um amplificador ou qualquer equipamento de áudio somente pela potência. A potência dá a intensidade ou volume máximo do sinal, o que nem sempre se usa.

É comum a compra de amplificadores de 100 ou 200 W rms para uso em pequenos ambientes em que nunca se abre o volume ao ponto de se obter mais do que uns 5 ou 10 W (um amplificador de menor potência, mas com mais qualidade seria melhor!).

A qualidade de um equipamento de som é dada por outros fatores como, por exemplo, a curva de resposta, a distorção harmônica total (THD), o fator de amortecimento, que determinam a fidelidade com que o som é reproduzido.

Não adianta colocar centenas de watts num ambiente de som distorcido que se torna desagradável aos nossos ouvidos, coisa comum em nossos dias.

Lembre-se que os amplificadores têm maior taxa de distorção nas potências mais elevadas. Assim, comprar um amplificador com uma potência um pouco maior do que a necessitada para não precisarmos usá-lo com o volume todo aberto, é uma garantia de que teremos excelente qualidade de som.

### **Questionário**

1 - Um ruído:

- a) Tem um padrão fixo de frequência
- b) Não tem frequência definida
- c) Tem componentes fixas de alta frequência
- d) É um sinal de baixa frequência

2 - Especificado pela potência PMPO a potência de um amplificador de 100 W rms resultará num número:

- a) Menor que 100
- b) Igual a 100
- c) Maior que 100
- d) Nada podemos afirmar

3 - A área de um gráfico tensão x tempo para um sinal de áudio indica:

- a) A distorção
- b) A impedância
- c) A potência
- d) A eficiência

## **Lição 3 - Os Transdutores**

Os transdutores estão presentes em todas as aplicações eletrônicas como elementos que interfaceiam o equipamento com mundo exterior. É através deles que os equipamentos se comunicam conosco e que permitem que nos comuniquemos com eles.

Nos equipamentos de som encontramos diversos tipos de transdutores que passamos a estudar agora.

### **3.1 - O que são Transdutores**

Transdutores são dispositivos que convertem uma forma de energia em outra. Podemos citar como exemplo os motores que convertem energia elétrica em energia mecânica, ou as foto-células que convertem luz (energia radiante) em energia elétrica.

Para nós, neste curso, interessam-nos os transdutores em que uma das formas de energia envolvida é o som, ou seja, energia acústica.

Assim, num caso temos os transdutores que convertem som (energia acústica) em energia elétrica, como os microfones, os fonocaptadores, etc.

No outro caso temos os transdutores que convertem energia elétrica em som como os alto-falantes, fones de ouvido, etc.

Nesta lição estudaremos o princípio de funcionamento dos dois tipos de transdutores.

#### **Variações**

Também podemos considerar neste grupo de dispositivos aqueles em que a energia acústica não é propriamente convertida em outra forma de energia, mas controla outras energias como, por exemplo, um LDR em que a luz controla uma corrente e não é convertida em energia elétrica. Assim, existem microfones em que a energia acústica controla a corrente num circuito, caso em que também podemos enquadrá-lo no grupo dos sensores.

### **3.2 - Como Funciona o Microfone**

A finalidade de um microfone é converter sons em sinais elétricos, para que estes sinais elétricos possam ser usados nos circuitos eletrônicos como amplificadores, gravadores, transmissores etc.

O microfone é um dos mais antigos transdutores criados pelo homem, e também dos mais usados atualmente.

Analisemos seu princípio de funcionamento.

As ondas sonoras consistem em vibrações mecânicas de um meio natural e se propagam com uma velocidade que depende de diversos fatores, entre eles a natureza do meio, conforme estudamos na lição anterior.

Assim, no ar, estas ondas são de compressão e decompressão e se propagam em condições normais a uma velocidade de aproximadamente 340 metros por segundo.

Evidentemente, por serem ondas mecânicas, elas não podem excitar diretamente os circuitos eletrônicos, daí a necessidade de termos um dispositivo intermediário que faça sua conversão em eletricidade.

Este dispositivo é um transdutor eletro-acústico denominado microfone.

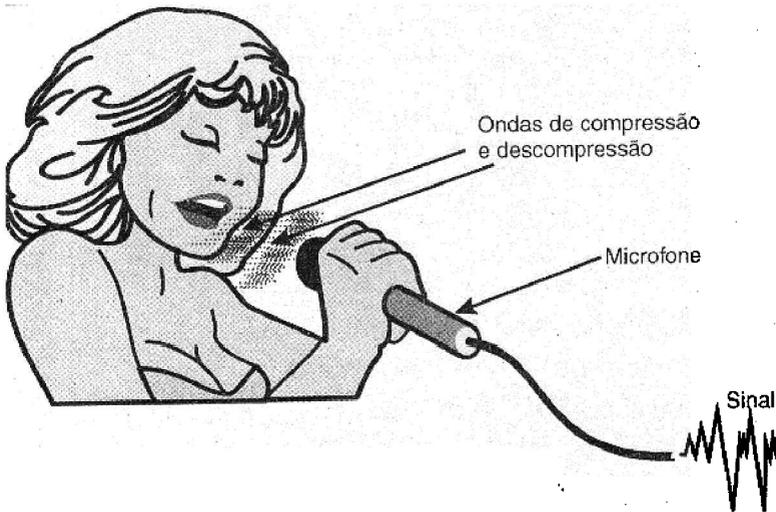


Figura 29 – Ondas sonoras são convertidas em sinais elétricos

Podemos dizer que o microfone funciona de modo "inverso" ao alto-falante: enquanto o alto-falante recebe os sinais elétricos de um amplificador e os converte em som (energia acústica), o microfone recebe os sons e os converte em energia elétrica.

Para que possamos usar um microfone de maneira eficiente num aparelho eletrônico, na gravação de música, reprodução, transmissão de voz ou num intercomunicador, ele deve ter algumas características próprias bem definidas que são:

### a) Fidelidade

A fidelidade significa a capacidade do microfone em produzir um sinal elétrico que tenha as mesmas características dos sons originais, ou seja, intensidade, frequência e forma de onda.

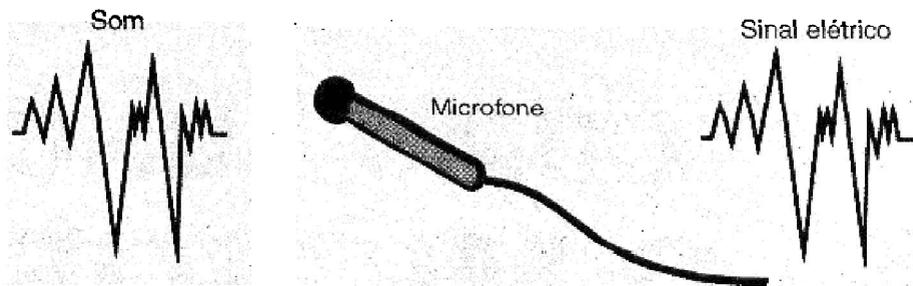


Figura 30 – A forma de onda do sinal elétrica deve ser a mesma do som original

Dependendo do tipo, o microfone pode ser mais sensível para os sons de determinadas frequências o que nos leva a um uso específico. Por exemplo, um microfone mais sensível aos sons de médias frequências é apropriado a transmissão da palavra falada.

### b) Sensibilidade

A sensibilidade está relacionada com a capacidade que o microfone tem de trabalhar com sons muito fracos. Dependendo do uso, podemos ter microfones mais ou menos sensíveis.

### c) Diretividade

Conforme a construção do microfone, ele pode ter mais facilidade em captar os sons provenientes de determinadas direções. Isso determina a diretividade do microfone que pode ser representada por meio de um gráfico.

Na figura 31 damos alguns exemplos dos gráficos de diretividade.

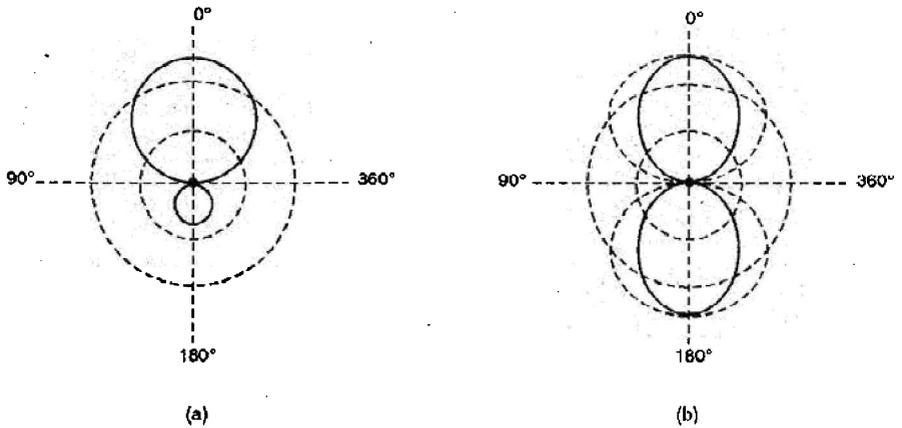


Figura 31 – Curva de diretividade de microfones

Em (a) temos um microfone unidirecional, ou seja, um microfone que capta os sons somente de uma direção. Este tipo de microfone é muito usado em estádios ou num teatro pelo apresentador, onde apenas uma pessoa deve ser ouvida.

Em (b) temos um microfone onidirecional (ou omnidirecional), ou seja, que tem a mesma sensibilidade para os sons que chegam de todas as direções.

### 3.2.1 -Tipos de Microfones

Diversos são os tipos de microfones que encontramos nas aplicações práticas e que diferem tanto quanto às características elétricas como também segundo o princípio de funcionamento.

Na figura 32 temos os principais tipos de microfones com os símbolos adotados para sua representação.

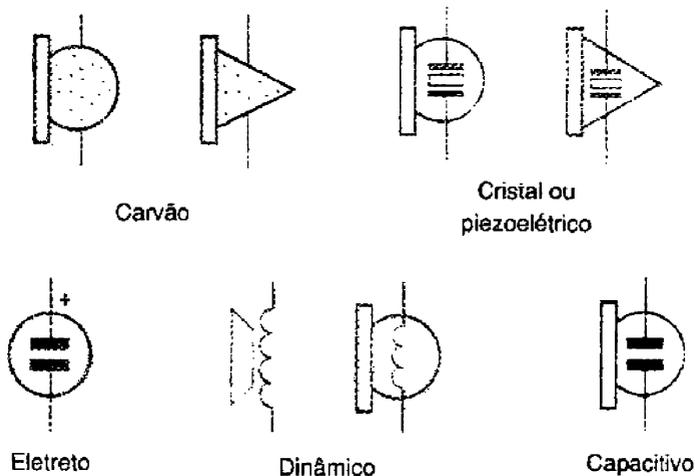


Figura 32 – Símbolos para os diversos tipos de microfones

Temos então os seguintes tipos de microfones (alguns pouco usados atualmente, mas cujo conhecimento é importante por motivos históricos).

### **História**

Vários dos microfones que descrevemos não mais são usados, por diversos motivos que vão desde a fragilidade e durabilidade reduzida até a fidelidade muito pobre que limitava sua aplicações, mesmo na época em que foram criados.

#### **a) carvão**

Este, sem dúvida, é o tipo mais antigo, já que os primeiros microfones que existiram utilizavam finos grãos de carvão numa caixinha com um diafragma, conforme mostra a figura 33.

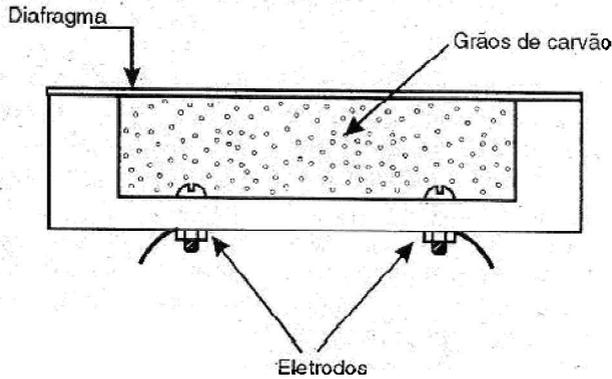


Figura 33 – O microfone de carvão

O diafragma consiste numa membrana de metal, plástico ou outro material flexível que faz contacto direto com os grãos de carvão na caixinha.

A resistência apresentada pelo dispositivo, entre os terminais A e B, depende do grau de compressão dos grãos de carvão.

Desta forma, o som ao incidir no diafragma, movimenta-o de modo que ele passe a comprimir e distender os grãos de carvão, variando assim a resistência entre os pontos A e B.

O microfone de carvão apresenta uma baixa impedância, e como ele não gera energia elétrica, é necessário usar um circuito com uma fonte de energia, normalmente uma pilha, conforme mostra a figura 34.

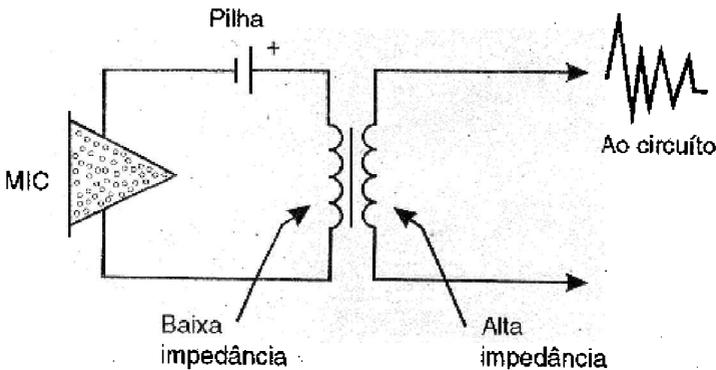


Figura 34 – Circuito de uso para o microfone de carvão

A variação da resistência do microfone com a incidência do som faz com que varie a corrente no enrolamento primário do transformador. Induz-se então no secundário de alta impedância do transformador um sinal cuja forma de onda e frequência correspondem ao som captado.

Os microfones de carvão foram muito usados em telefonia onde a voz humana deve ser transmitida, já que apresentam uma resposta melhor nas médias frequências.

### **b) Microfone dinâmico**

Este tipo de microfone, formado por uma bobina presa a um diafragma que se movimenta no campo magnético de um ímã permanente, conforme mostra a figura 35.

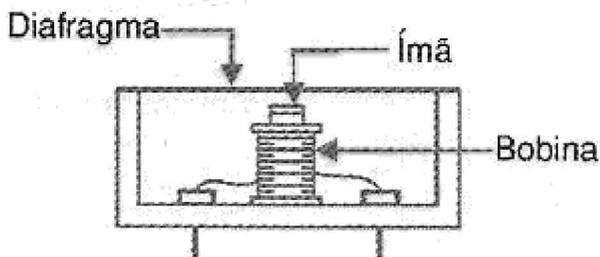


Figura 35 – O microfone dinâmico

Trata-se praticamente de um alto-falante funcionando “ao contrário”.

Num alto-falante comum, quando a bobina é percorrida por uma corrente que corresponde a um sinal de áudio, é criado um campo magnético e conseqüentemente aparece uma força que movimenta o cone para frente e para trás, produzindo assim as ondas de compressão e descompressão do ar que formam o som.

Se o som incidir no diafragma, ele movimenta o conjunto inclusive a bobina móvel no campo do ímã de modo a ser induzida uma corrente cujas características correspondem a este som.

Pequenos alto-falantes, por este motivo, podem funcionar como microfones, bastando que se fale nas suas proximidades ou que eles sejam apontados para a fonte sonora. No entanto, como não são fabricados para esta finalidade, eles apresentam algumas deficiências quando funcionam como microfones.

## Transdutores

Muitos transdutores são bilaterais, ou seja, funcionam nos dois sentidos. É o caso dos alto-falantes que podem funcionar como tal, convertendo energia elétrica em som, como também "invertidos", funcionando como microfones, convertendo sons em energia elétrica.

Como eles são dispositivos de baixa impedância, normalmente devem ser usados com um transformador que eleve sua impedância como o da figura 36, ou ainda ligados em circuitos adaptadores de impedância com transistores na configuração de base comum.

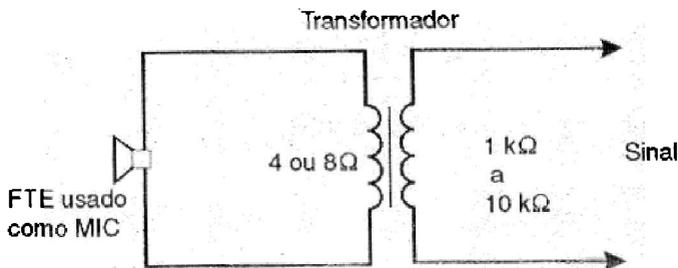


Figura 36 – Usando um transformador adaptador

### c) Microfones piezoelétricos

Os microfones de cristal ou cerâmicos operam aproveitando as propriedades piezoelétricas de determinadas substâncias como, por exemplo, o Sal de Rochelle ou as cerâmicas como o titanato de bário.

Estas substâncias, ao sofrerem deformações mecânicas, geram tensões elétricas proporcionais.

Assim, basta que um cristal de uma substância como estas seja acoplado a um diafragma para que as ondas sonoras captadas produzam forças mecânicas que fazem o cristal gerar sinais elétricos.

Na figura 37 temos um exemplo de microfone deste tipo.

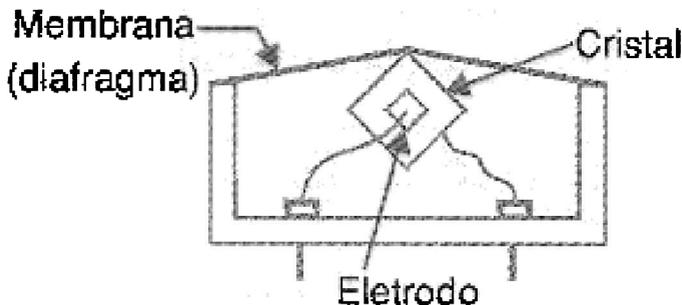


Figura 37 – Microfone de cristal

Este microfone usa o Sal de Rochelle, sendo por isso, denominado "microfone de cristal". Se bem que seja muito sensível, fornecendo sinais relativamente intensos que podem excitar diretamente os amplificadores, o microfone de cristal, muito sensível ao calor e umidade.

Por este motivo atualmente ele praticamente não é mais usado, sendo substituído pelos microfones cerâmicos que são mais robustos e praticamente não são afetados pelo calor e umidade.

#### **d) Microfone de eletreto**

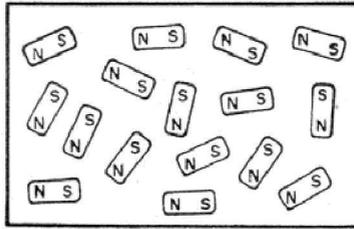
Os microfones de eletreto, como o nome indica são baseados nas propriedades elétricas de substâncias denominadas eletretos.

Para entender como funcionam os microfones de eletreto vamos por tomar por comparação os ímãs.

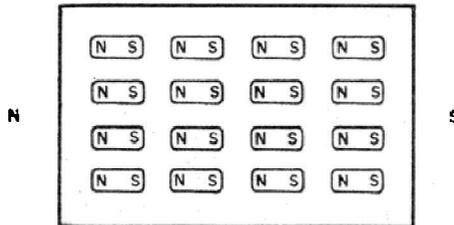
Num material comum como o ferro, encontramos uma infinidade de pequenos ímãs elementares que estão completamente desorganizados.

Desta forma, seus campos magnéticos se anulam e o material como um todo não apresenta propriedades magnéticas perceptíveis.

No entanto, se através de um processo qualquer conseguirmos "arrumar" os ímãs elementares de modo que todos fiquem na mesma posição, conforme mostra a figura 38, seus efeitos se somam e se manifestam no material como um todo.



NUM MATERIAL COM OS ÍMÃS  
ELEMENTARES ESTÃO DESORIENTADOS.



NUM ÍMÃ OS ÍMÃS ESTÃO ORIENTADOS.

Figura 38 – Os ímãs

O material passa a se comportar como um ímã com polos norte e sul, atraindo metais ferrosos de uma maneira que já conhecemos.

No entanto, não é apenas com materiais magnéticos que este fenômeno se manifesta.

Existem materiais isolantes em que lugar de ímã elementares encontramos dipolos elétricos elementares que numa condição natural estão desorientados.

Se esses dipolos forem orientados, o corpo isolante passa a se comportar como se tivesse sido eletrizado com uma face com cargas positivas e outra negativa.

Os discos de vinil são feitos com uma resina que manifesta esta propriedade, por isso têm uma carga elétrica natural com uma enorme tendência para atrair poeira e outras partículas, conforme mostra a figura 39.

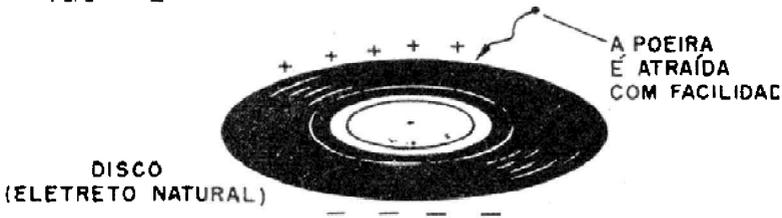


Figura 39 – Os discos são eletretos

Mas, o mais importante nisso tudo é que se tivermos um material com essas propriedades, a concentração de suas cargas pode ser alterada quando o material sofre uma pressão ou uma deformação.

Até mesmo a radiação infravermelha pode alterar essa concentração de cargas, tornando-se esses materiais úteis para a construção de sensores.

No caso do microfone de eletreto, o que fazemos é montar uma lâmina deste material presa rigidamente e acoplada a um diafragma.

Numa das faces, conforme mostra a figura 40, colocamos uma conexão à comporta de um sensível transistor de efeito de campo (FET).

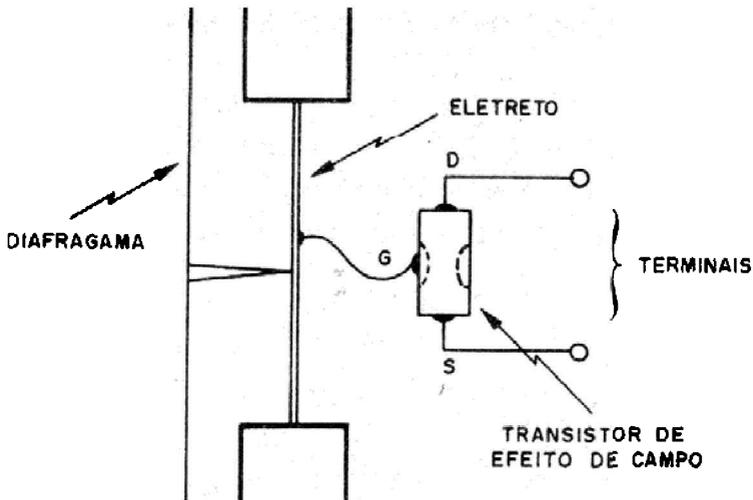


Figura 40 – O microfone de eletreto

Num FET, a corrente que flui entre o dreno (d) e a fonte (s) depende da carga elétrica ou tensão aplicada à comporta, conforme mostra a figura 41.

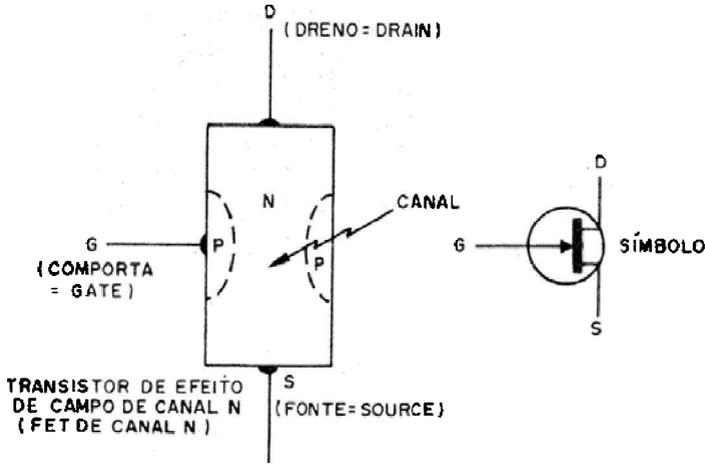


Figura 41 – Funcionamento do FET

Assim, quando as ondas sonoras atingem o diafragma do microfone, o acoplamento mecânico deforma o eletreto fazendo com que as cargas variem e com isso a tensão aplicada à comporta do transistor.

O resultado é que temos no transistor uma corrente que varia exatamente com a forma de onda do som incidente.

A sensibilidade é muito grande graças também ao fato de que o transistor atua como um amplificador.

Os tipos mais comuns de microfones de eletreto são os de dois terminais e os de três terminais, mostrados na figura 42.

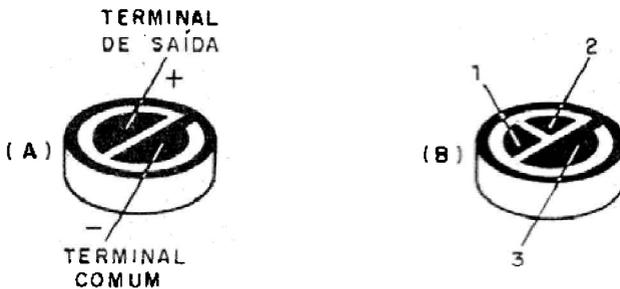


Figura 42 – Tipos de microfones de eletreto

Como esse microfone possui um transistor interno, ele precisa ser polarizado externamente por um circuito para que funcione convenientemente.

Na figura 43 temos o modo de se ligar esse circuito com um resistor

cujo valor depende da tensão de alimentação, mas que tipicamente está entre 1k e 10k.

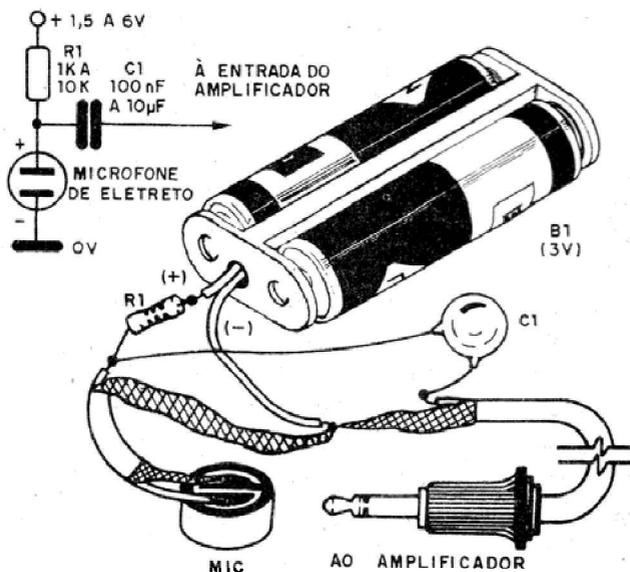


Figura 43 – Polarizando o microfone de dois terminais

O circuito mostrado junto ao diagrama é de um microfone de eletreto para ser ligado à entrada de um amplificador, alimentado por duas pilhas pequenas ou palito. Para o microfone de 3 terminais temos a conexão mostrada na figura 44.

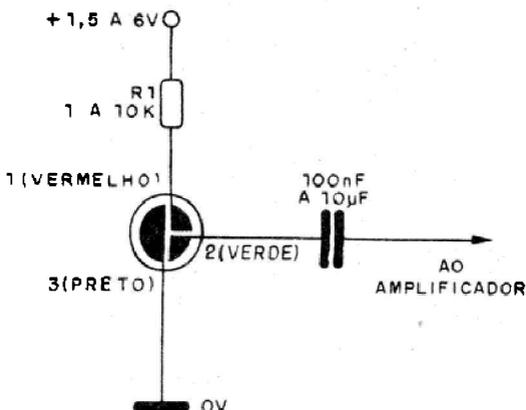


Figura 44 – Conexão para o microfone de 3 terminais

Os microfones de eletreto são simples de usar e sensíveis, conforme vimos, podendo substituir outros tipos desde que sejam usados com o circuito de polarização conveniente.

Veja que, para que o transistor de efeito de campo funcione é preciso haver uma fonte de energia externa, daí a necessidade da polarização externa.

### Outros tipos

Além dos tipos indicados existem outros que podem ser incluídos em nossa lista.

O primeiro deles é o microfone cerâmico, que nada mais é do que um microfone de cristal em que o sal de Rochelle é substituído por uma cerâmica piezoelétrica.

A cerâmica piezoelétrica é muito mais robusta e não absorve umidade. Um outro tipo de microfone, apenas encontrado em aplicações profissionais é o capacitivo.

Conforme mostra a figura 45, o diafragma deste microfone é a armadura de um capacitor.

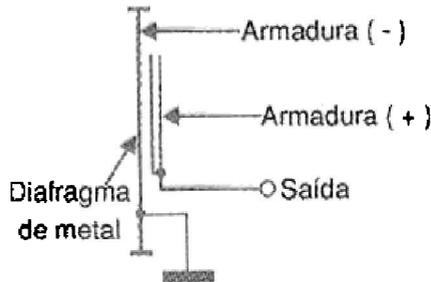


Figura 45 – O microfone de capacitor

Quando o som incide neste diafragma a capacitância do capacitor se modifica conforme a intensidade e frequência do som.

Este microfone é usado num tipo especial de circuito em que ele modula um sinal em frequência e o sinal fornece a saída de áudio para amplificação.

Este tipo de microfone possui excelentes qualidades, mas pela dificuldade de uso não é muito empregado em aplicações comuns.

### **Microfones antigos**

Abaixo, exemplos de microfones dos anos 20 e 30 usados em emissoras de rádio e estúdios. Observe a suspensão com molas para evitar a captação de vibrações da mesa.



### **3.2.2 – Impedância e Nível de Sinal**

Os microfones apresentam características elétricas que devem ser levadas em conta quando os usamos.

#### **Impedância**

Uma primeira característica, de grande importância, é a impedância que nos informa de que modo o microfone se comporta eletricamente e como ele entrega o sinal elétrico em sua saída.

Um microfone só pode transferir todo o sinal elétrico que ele gera ao circuito externo, quando sua impedância for igual a da entrada do circuito externo, ou seja, houver um “casamento de impedâncias” conforme mostra a figura 46.

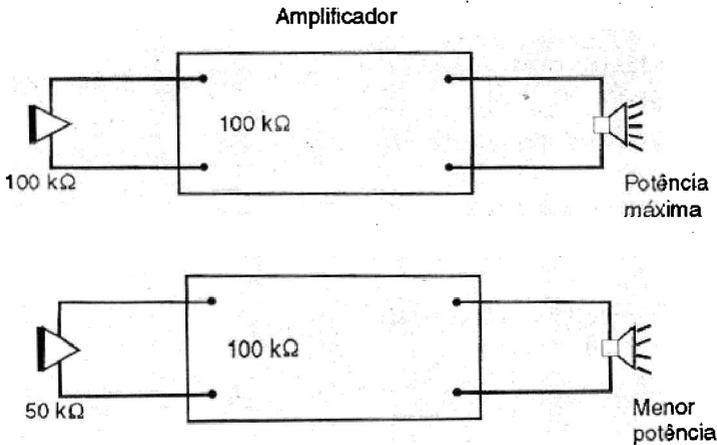


Figura 46 – Máxima transferência de energia

Se ligarmos um microfone que tenha uma impedância elevada numa entrada de menor impedância de um amplificador, poderemos ainda ter o seu funcionamento, mas ocorrem perdas, porque os microfones de impedância mais alta normalmente também fornecem um sinal de maior intensidade.

Isso não ocorre com um microfone de baixa impedância: se o ligarmos à uma entrada de impedância mais alta de um amplificador não haverá excitação, pois seu nível de sinal também é insuficiente.

### Sensibilidade

Esta característica nos dá a intensidade do sinal que o microfone fornece. Normalmente, esta característica é dada em volts pico a pico ( $V_{pp}$ ) e para os microfones comuns pode variar entre microvolts e milivolts para os menos sensíveis até perto de 1 V para os mais sensíveis.

Esta característica é importante para sabermos se o microfone que vai ser utilizado num equipamento pode excitá-lo.

Por exemplo, se um amplificador precisar de 600 mV de entrada para dar a potência total de saída e o microfone só fornecer 100 mV, evidentemente, ao ligar este microfone no aparelho a saída não chegará ao máximo e ele vai “falar baixo”.

Neste caso, será preciso ligar um pré-amplificador entre o microfone e o amplificador, conforme mostra a figura 47.

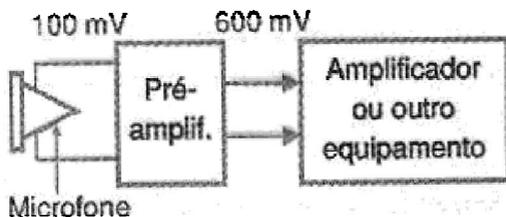


Figura 47 – Usando um pré-amplificador

### Curva de Resposta

O ideal para um microfone é que ele capte todas as frequências com a mesma sensibilidade. Na prática isso não ocorre e os microfones não só respondem a uma faixa limitada de frequência como também de modo irregular, conforme mostra a figura 48.

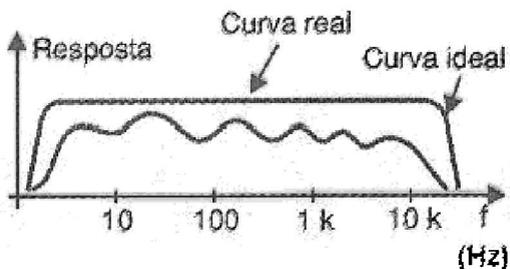


Figura 48 – Curva de resposta de um amplificador

Assim, precisamos estar atentos à curva de resposta de um microfone para que ela corresponde à aplicação. Um microfone para locução pode ter uma faixa mais estreita e concentrada mais nos graves e médios do que um usado para música que precisa ter uma faixa mais ampla.

### Curva de Diretividade

Os microfones podem ter características diferentes quanto à direção em que sua sensibilidade é maior. Na figura 49 mostramos as diversas curvas de diretividade de microfones comuns.

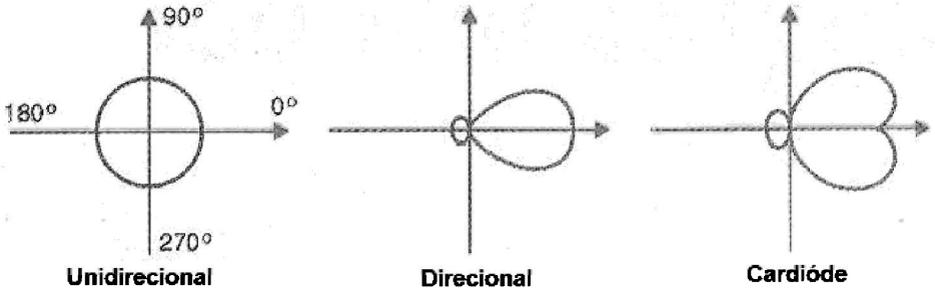


Figura 49 – Curvas de diretividade

Assim, um microfone onidirecional (tudo ou todo em latim) ou unidirecional é aquele que capta o som com a mesma sensibilidade em todas as direções. Já um microfone cardióide (diagrama de diretividade em forma de coração) capta apenas os sons que incidem pela sua parte frontal.

Para cada aplicação, a curva característica apropriada deve ser escolhida.

### Sinal de saída

Outra informação importante é a intensidade do sinal fornecido pelos microfones que é indicada em milivolts (mV) ou microvolts (uV).

Microfones dinâmicos de baixa impedância fornecem sinais da ordem de microvolts enquanto que os microfones cerâmicos e de cristal fornecem sinais na faixa de 100 mV a 500 mV.

Para que os microfones funcionem bem com amplificadores comuns, na maioria dos casos são necessários circuitos adaptadores denominados casadores de impedâncias ou pré-amplificadores.

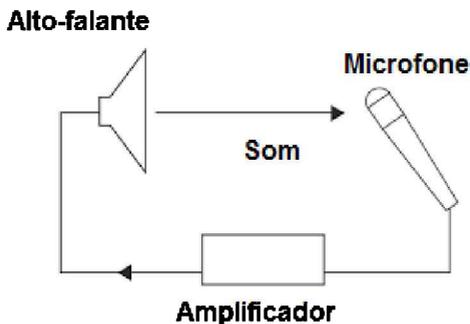
Os casadores de impedância simplesmente modificam a impedância segundo o sinal é entregue ao circuito externo a partir de um microfone, já o pré-amplificador também altera sua intensidade.

## 3.3 - Microfonia ou Realimentação Acústica

Um problema que não é do microfone, mas muitas pessoas podem achar que sim, é o que ocorre quando temos o fenômeno da realimentação acústica ou microfonia.

Esse fenômeno ocorre quando o volume de um amplificador é aumentado (aberto) e então aparece um forte apito no alto-falante do sistema de som. Este fenômeno, conforme mostra a figura 50, consiste na captação do sinal reproduzido pelo alto-falante pelo próprio

microfone que então o amplifica novamente, formando assim um elo de realimentação que leva o sistema á oscilação.



*Figura 50 – A microfonia*

A frequência dessa oscilação depende do tempo que o sinal leva para circular pelo sistema. Veja que mudando a posição do microfone, por exemplo, aproximando-o do sistema de som, o apito se torna mais agudo.

Para cortar este efeito existem diversas possibilidades. Sistemas modernos de som retardam a reprodução de modo que ela não consiga circular pelo sistema numa velocidade suficiente para causar o problema. Outros circuitos invertem a fase do sinal, o que também pode reduzir o efeito.

Na prática, para os sistemas comuns que não possuem recursos para esta finalidade, elimina-se a microfonia simplesmente afastando-se o microfone do alto-falante do sistema ou baixando o volume.

Outra possibilidade importante consiste em se usar um microfone direcional de modo que ele capte apenas o som que venha da fonte e não o alto-falante que o reproduz.

O posicionamento dos alto-falantes num sistema também é importante, devendo sempre ser evitado que eles enviem o som em direção ao microfone.

### **3.4 - Fonocaptadores**

Se bem que o uso dos toca-discos de vinil seja raro hoje em dia, restrito aos colecionadores, aos recuperadores de mídias e outros, é sempre interessante saber como eles funcionam, principalmente o transdutor usado para ler as informações no disco.

O fonocaptor ou cápsula fonográfica consiste num transdutor eletro-acústico que converte as vibrações que ocorrem quando a agulha percorre o sulco de um disco em sinais elétricos, correspondentes aos sons gravados.

Fonocaptores são transdutores de pressão usados na leitura das informações dos sulcos dos discos fonográficos (discos de vinil), conforme mostra a figura 51.

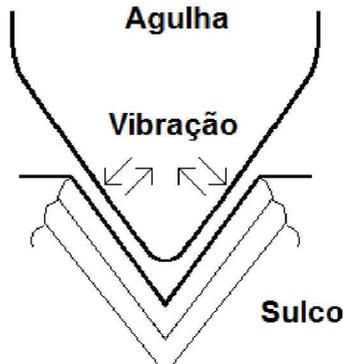


Figura 51 – A agulha do fonocaptor

As ondulações dos sulcos nada mais são do que um “retrato” das vibrações correspondentes aos sons gravados. Na figura 52 temos os aspectos dos tipos mais comuns e sua instalação no braço do toca-discos.

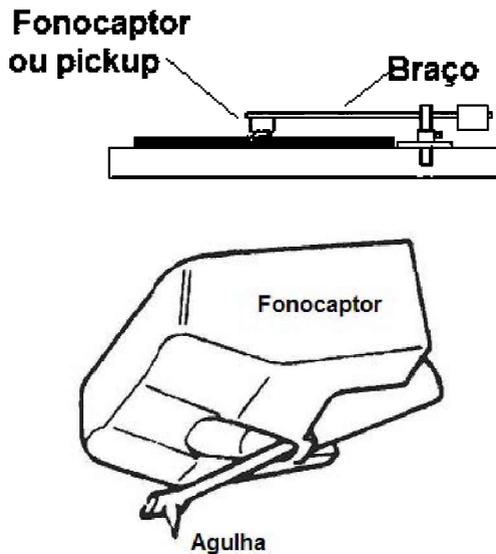


Figura 52 – O fonocaptor ou pick-up

O tipo mais tradicional é o de cristal em que existe um cristal piezo-elétrico acoplado a uma agulha.

Esse tipo de transdutor também é popularmente chamado de cristal de toca-discos ou pick-up, já sendo um componente muito raro, pois os discos de vinil e toca-discos não mais são fabricados.

Outro tipo de fonocaptor é o magnético que funciona segundo o mesmo princípio do microfone.

A agulha é acoplada a uma peça próxima de um ímã e uma bobina.

O movimento da agulha altera as linhas do campo do ímã, induzindo um sinal na bobina.

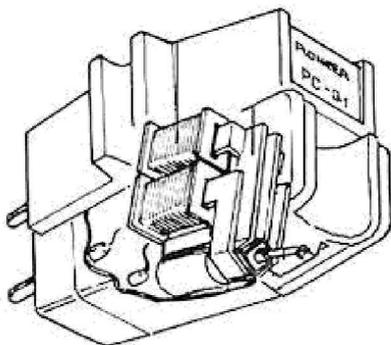
Os fonocaptadores de cristal são dispositivos de alta impedância que fornecem sinais intensos, enquanto que os fonocaptadores magnéticos são dispositivos de baixa impedância com sinais fracos que exigem o uso de pré-amplificadores apropriados, com ganhos de tensão elevados.

Nos tipos muito antigos de fonocaptadores, a agulha se desgastava com o uso, devendo ser constantemente trocada.

A desvantagem dessa tecnologia é que, com o uso, o sulco do disco também sofre desgaste, o que significa que eles têm tempo limitado de uso.

### Gravações estéreo

Nos discos em que a gravação é estéreo, os sons dos canais são gravados um em cada lateral do sulco. Quando a agulha o percorre, as vibrações de um lado fazem com que o sinal seja gerado no transdutor do outro lado e vice-versa, conforme mostra a figura.



Um fonocaptor estéreo

### 3.4.1 - Toca-Discos

São equipamentos mecânicos destinados à reprodução de discos de vinil.

Os tipos mais antigos tinham várias rotações (33, 45 e 72 rpm) conforme os tipos de discos a serem reproduzidos.

O disco era colocado num prato que, ao girar, fazia com que uma agulha do fonocaptor deslizasse nos seus sulcos captando as vibrações correspondentes aos sons gravados.

Os toca-discos ainda podem ser encontrados nas casas de colecionadores de discos antigos de vinil.



### 3.5 - Cabeças de Leitura (Gravação Magnética)

Nos gravadores de fita cassete e de áudio tipo rolo antigos e também nos gravadores de videocassete, encontramos um transdutor que transfere os sinais de áudio ou vídeo ou ambos para a fita na forma de um campo magnético.

Estes transdutores são as cabeças de gravação sendo formadas por uma bobina onde é aplicado o sinal e um núcleo com um entreferro muito pequeno onde aparece o campo que orienta as partículas da fita conforme o sinal.

A cabeça também funciona do modo inverso, ou seja, lendo as informações gravadas na fita.

Quando a fita se movimenta diante da cabeça, o campo criado pelas partículas orientadas da fita induz uma tensão na bobina, cuja forma de onda corresponde ao sinal gravado.

Na figura 53 temos a estrutura simplificada de uma cabeça de leitura de gravador comum.

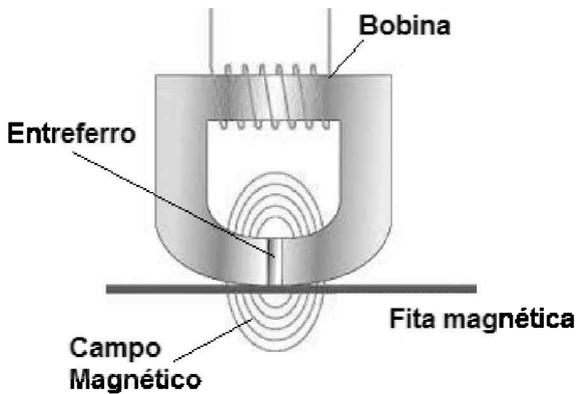


Figura 53 – Cabeça de leitura de gravador

Na figura 54 temos diversas cabeças de gravação e leitura encontradas em equipamentos de áudio de 1 a 4 canais.



Figura 54 – Cabeças de gravação e leitura comuns

Em certos equipamentos a cabeça de leitura também é usada para fazer a gravação das informações numa fita magnética de vídeo ou áudio, caso em que ela reúne a função de cabeça de gravação.

Mais adiante estudaremos em detalhes o processo de gravação ao analisar um gravador/reprodutor de fitas.

### 3.6 - Captadores Para Violão, Guitarras e Outros Instrumentos

Os captadores para violão e guitarra são transdutores que captam os sons desses instrumentos musicais e outros de corda, obtendo-se assim um sinal elétrico para um amplificador.

Os captadores podem ser do tipo piezoelétrico ou magnético.

Os piezoelétricos nada mais são do que microfones que captam diretamente o som do instrumentos, sendo fixados em qualquer parte dele.

Eles também são denominados "microfones de contato".

Esses transdutores são de alta impedância. Por outro lado, os tipos magnéticos ou indutivos são montados logo abaixo das cordas (que devem ser metálicas) captando os sons pela influência que elas têm no campo de um ímã.

Em torno desse ímã é enrolada uma bobina captadora. Esses tipos são de baixa impedância, fornecendo sinais pouco intensos que exigem a utilização de um pré-amplificador de bom ganho.

A figura 55 mostra um captador que é colocado sob as cordas.

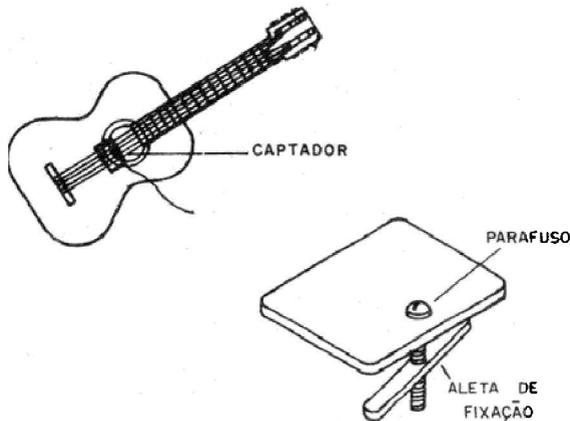


Figura 55 – Captador para violão

### 3.7 - Captadores Telefônicos

Também chamados de "maricotas" pelos radioamadores são bobinas formadas por milhares de espiras (1 000 a 10 000 espiras) de fio muito fino com um cabo e um plugue para ser ligado a um transmissor, gravador ou amplificador.

Colocadas perto do fone ou microfone de um telefone comum (análogo) elas captam indutiva o sinal de voz transferindo-o ao equipamento desejado.

Com elas é possível gravar, transmitir ou ouvir num amplificador conversas telefônicas.

Para se obter o melhor resultado no seu uso é preciso encontrar experimentalmente a posição no telefone que capte com maior intensidade os sinais.

Na figura 56 mostramos como usar este transdutor.



*Figura 56 – Usando o captador*

### **Posicionamento**

Os captadores funcionam bem em tipos de telefones que usam fones magnéticos. Em tipos que fazem uso de fones piezoelétricos, o posicionamento pode ser problemático com uma dificuldade maior de captação do sinal.

**Questionário**

1 - Os transdutores servem para:

- a) Converter som em energia elétrica
- b) Converter um tipo de energia em outra
- c) Gerar sons
- d) Gerar energia elétrica

2 - Qual dos transdutores abaixo não é eletro-a-cústico?

- a) Alto-falante
- b) Lâmpada
- c) Microfone
- d) Captador de violão

3 - Um microfone piezoelétrico se caracteriza por te:

- a) Alto rendimento
- b) Baixa impedância
- c) Alta impedância
- d) Baixa sensibilidade

4 - Em que tipo de microfone encontramos internamente um transistor de efeito de campo?

- a) Carvão
- b) Magnético

c) Cerâmico

d) Eletreto

5 - Os microfones que podem captar sons de todas as direções são denominados:

a) Piezoelétricos

b) Unidirecionais

c) Cardióides

d) De baixa impedância

## Lição 4 - Transdutores II

Na lição anterior estudamos os transdutores que convertem som em energia elétrica, ou seja, os transdutores de entrada dos equipamentos de som.

Nesta lição continuaremos estudando os transdutores, passando agora para os transdutores de saída, ou seja, os que convertem sinais elétricos em sons.

Para um bom funcionamento de qualquer equipamento de som devemos estar atentos não apenas a qualidade destes transdutores, mas também às suas características que devem casar com as características dos equipamentos com os quais eles devem operar.

### 4.1 - Os Alto Falantes

Um dos componentes mais usados na reprodução sonora é o alto-falante comum de bobina móvel.

Na verdade, quando se deseja uma boa potência de áudio como em sistemas de som, sonorização ambiente, som automotivo, o melhor recurso para se obter altas potências de uma forma eficiente e barata é ainda o alto-falante.

Como funcionam os alto-falantes de bobina móvel é o que veremos a seguir.

Os alto-falantes comuns são transdutores que convertem energia elétrica em energia acústica. Em outras palavras, eles recebem um sinal elétrico que tem a frequência e a forma de onda de um e o convertem nesse som, conforme mostra a figura 57.

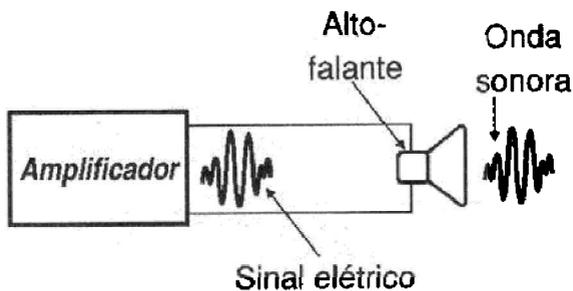


Figura 57 – Uso do alto-falante

O tipo mais comum de alto-falante usado atualmente é o de bobina móvel. Trata-se de um transdutor eletrodinâmico bastante eficiente que tem a estrutura básica em corte mostrada na figura 58.

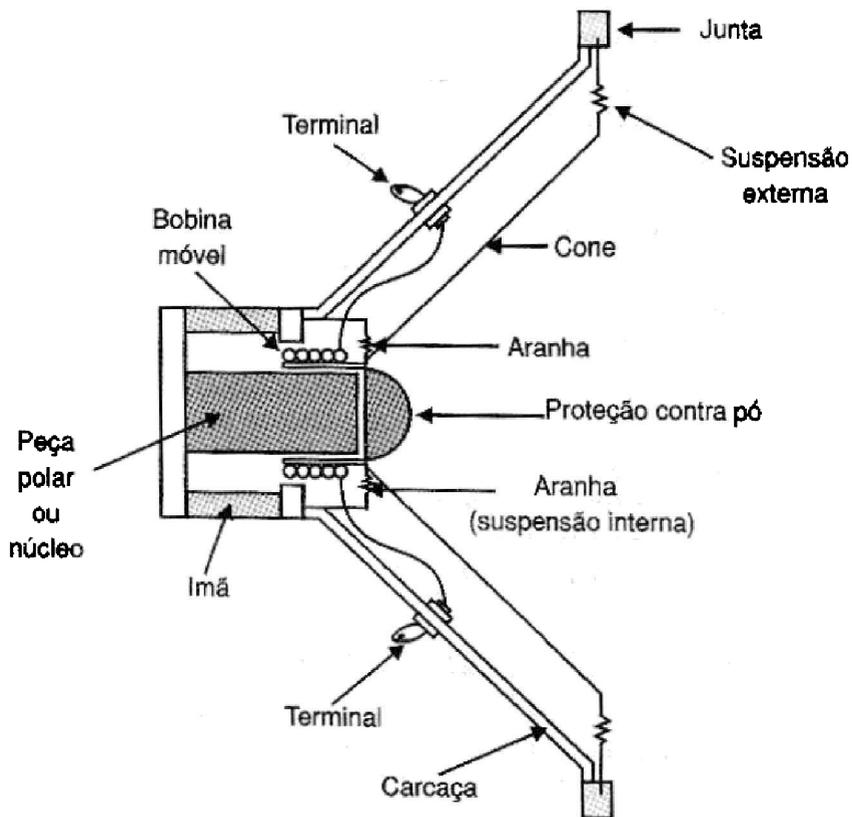


Figura 58 – Estrutura de um alto-falante

Nesse tipo de alto-falante existe uma bobina de fio de cobre esmaltado enrolada num tubinho que é preso ao cone do alto-falante. O cone pode ser de papelão ou plástico e tem um sistema de suspensão que permite que ele se movimente para frente e para trás.

### **Materiais**

Em tipos especiais de alto-falantes o fio não só tem formato especial, em alguns casos, em tiras como podem usar materiais de baixa resistência elétrica para melhorar o desempenho nas faixas de frequência de operação. Alto-falantes muito caros, para sistemas de home theater e som doméstico ou automotivo utilizam esta tecnologia.

O próprio material do cone pode variar conforme a potência e a qualidade do alto-falante.

A bobina está posicionada em torno de uma peça de metal, denominada peça polar, podendo se mover, mas sem tocar nela. O movimento é para frente e para trás.

A peça polar está em contacto com um potente ímã permanente de modo que ela concentra em torno da bobina esse campo, conforme mostra a figura 59.

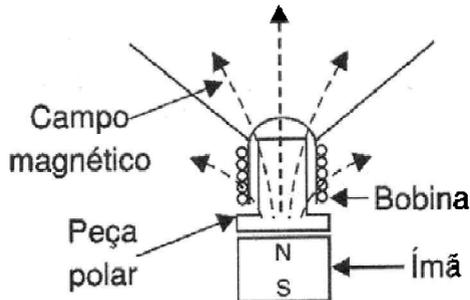


Figura 59 – O campo da bobina móvel e do ímã

Quando uma corrente que tenha freqüência e forma de onda correspondente ao som que deva ser reproduzido percorre a bobina, um campo magnético com as mesmas características é criado.

Esse campo interage com o campo do ímã concentrado na peça polar de tal modo que surgem forças proporcionais que tendem a movimentar a bobina e conseqüentemente o cone.

Assim, as forças são no sentido de fazer o cone vibrar, indo para frente e para trás, mas reproduzindo exatamente a forma de onda do sinal aplicado. A conseqüência disso é que o cone se movimenta empurrando e puxando o ar em sua volta de modo a produzir ondas de compressão e descompressão do ar, ou seja, ondas sonoras, conforme mostra a figura 60.

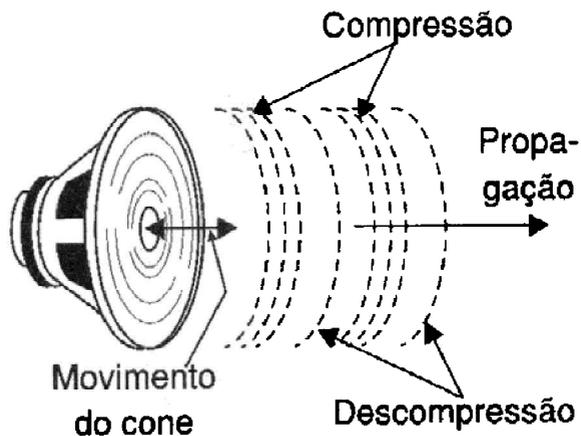


Figura 60 – Ondas sonoras produzidas pelo alto-falante

### ***Ondas sonoras***

*Na figura ilustramos a produção de ondas sonoras que se propagam para a frente, mas na realidade, o movimento também produz ondas sonoras pela parte traseira, daí a existência de furos nesta parte dos alto-falantes.*

Na prática, devido a elasticidade do material usado no cone e também devido às próprias características das ondas acústicas, a reprodução do som num alto-falante ocorre de forma mais intensa em certas zonas, conforme a frequência do som.

Por esse motivo, conforme mostra a figura 61, temos uma reprodução mais intensa dos agudos na região central enquanto que os médios ficam na região intermediária e os graves na periferia.

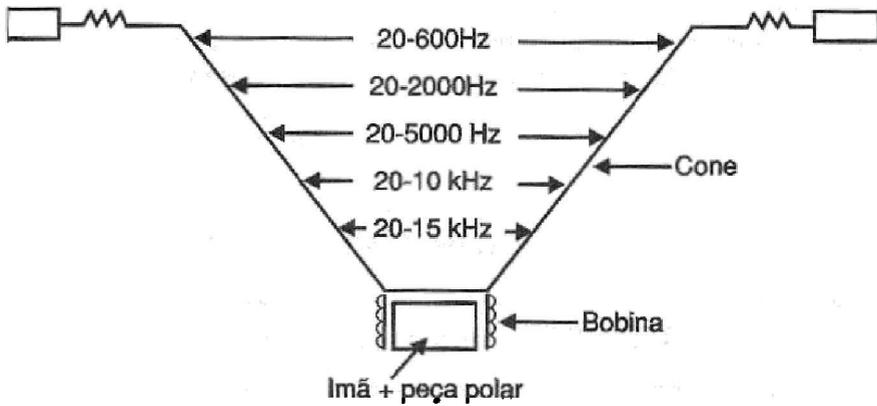


Figura 61 – Zonas de reprodução sonora de um alto-falante

Esse comportamento faz com que os alto-falantes tradicionais tenham dimensões que correspondam justamente à faixa de sons que devam ser reproduzidas.

### Tecnologias

Atualmente tecnologias especiais permitem que mesmo alto-falantes pequenos reproduzam sons graves, que tradicionalmente exigiam alto-falantes grandes.

## 4.2 - Tipos de Alto-Falantes

O que ocorre é que os alto-falantes comuns, por melhores que sejam, não têm a capacidade de reproduzir com igual rendimento todas as frequências na faixa de áudio.

Se bem que existam bons alto-falantes, capazes de ter uma resposta satisfatória em boa parte da faixa, eles não são perfeitos, e um desempenho melhor de um equipamento de som pode ser conseguido se os sinais forem divididos em faixas e reproduzidos por alto-falantes com características diferentes, conforme sugere a figura 62.

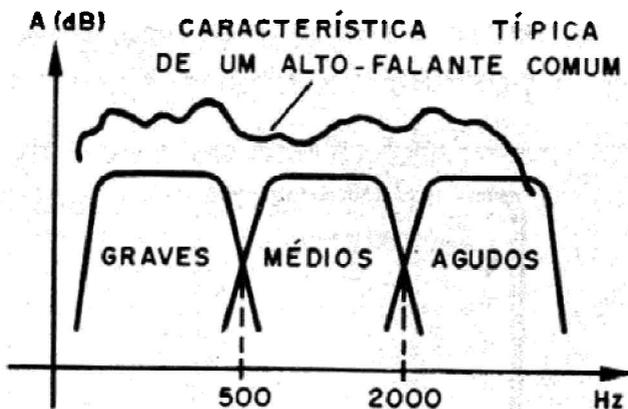


Figura 62 – Respostas de frequência de alto-falantes

Desta forma, os fabricantes podem concentrar seus esforços no sentido de produzir alto-falantes com uma resposta melhor numa faixa mais estreita, o que é mais fácil de ser conseguido.

Temos então alto-falantes específicos para determinadas faixas, como sugere a figura 63.

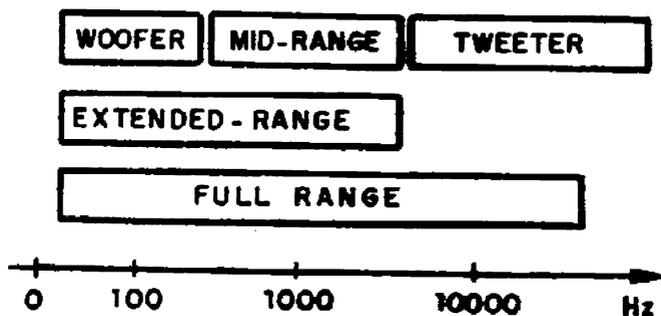


Figura 63 – Tipos e faixas de alto-falantes

Para os sons médios existem os "mid-ranges" que são alto-falantes relativamente pequenos que se destinam à reprodução de sons entre 500 e 5 000 Hz.



Figura 64 - Tweeters

Os tweeters podem ter a estrutura de um alto-falante comum (dinâmicos) com uma bobina ou cone, ou ainda ser do tipo piezoelétrico. Figura 64.

Neles, temos um transdutor piezoelétrico que é excitado por um sinal de alta tensão, pois estes elementos são de alta impedância.

Para obter este sinal de excitação, estes tweeters possuem internamente um pequeno transformador.

O enrolamento que vai ao amplificador é de baixa impedância e o enrolamento que excita a cerâmica piezoelétrica é de alta impedância.

Temos ainda os "woofers" e "sub woofers" que são alto-falantes pesados e grandes que se destinam à reprodução dos sons graves ou sons de baixas frequências como os sons de explosões, terremotos e outros muito apreciados no home-theater.

Esses alto-falantes exigem potências elevadas para um bom desempenho, conforme mostra a figura 65.



Figura 65 - Woofers

Um tipo interessante de alto-falante encontrado no carro e em sistemas de som doméstico é o full range. Esse alto-falante tem uma reprodução razoável em toda a faixa de frequências, sendo por isso uma alternativa econômica para sons que não precisem ou não possam ter três alto-falantes.

Finalmente temos o "extended range", encontrado principalmente em carros, que reproduz graves e médios, sendo usado em conjunto com um tweeter para a reprodução dos agudos.

Tecnologias modernas, entretanto, possibilitam a construção de alto-falantes extremamente compactos, mas com uma curva de resposta muito ampla, alcançando alto rendimento em quase todas as frequências do espectro audível.

Com estes alto-falantes, no entanto, é preciso garantir que somente os sinais que eles devem reproduzir cheguem até eles, o que significa que devemos usar filtros. Existem então categorias de filtros: os ativos e os passivos.

Os passivos são colocados depois dos amplificadores, de modo a deixar passar apenas os sinais nas faixas desejadas para cada alto-falante. Já os ativos são colocados junto ao amplificador, de modo que o amplificador opere somente com os sinais que o alto-falante ligado em sua saída deve operar.

Mais adiante analisaremos o funcionamento destes filtros.

### 4.3 - Alto-Falantes de Plasma

Conforme vimos, ondas sonoras são ondas de compressão e descompressão do ar. Estas ondas podem ser produzidas tanto pelo movimento de um objeto, no caso o cone de um alto-falante, como também pela expansão do ar, como ocorre numa explosão.

Uma descarga elétrica através do ar ionizado, por exemplo, como ocorre com um raio é outra forma de se obter uma onda sonora. A expansão do ar provoca o forte ruído do trovão.

Os alto-falantes de plasma aproveitam essa ideia.

Modulando-se uma fonte de muito alta tensão (MAT) com um sinal de áudio, a descarga que ocorre através de uma faísca, provoca ondas de compressão e descompressão do ar, resultando em som.

Denominamos plasma, pois se trata do estado em que um gás ionizado perde seus elétrons e conduz intensamente a corrente elétrica.

A principal vantagem deste sistema é que não existe um corpo material para ser movimentado, como no caso do cone de um alto-falante e, portanto, inércia que afete a curva de resposta.

No entanto, os experimentos feitos ainda não levam a um rendimento razoável, se bem que existam até empresas que vendam estes alto-falantes pela internet. Na figura 66 temos um exemplo.



Figura 66 – Tweeter de plasma da Corona Acoustyic GmbH (Alemanha) - [http://www.plasmatweeter.de/eng\\_corona.htm](http://www.plasmatweeter.de/eng_corona.htm)

No seu circuito é utilizada uma válvula que gera alta tensão, em configuração semelhante a que encontramos nos televisores analógicos antigos para gerar a MAT dos cinescópios. Na figura 67, o tweeter visto aberto.



Figura 67 – O tweeter de plasma por dentro

### Circuito de teste

Para os que desejarem fazer experiências, eis um circuito simples que pode ser elaborado com componentes comuns.

A bobina de alta tensão pode ser um fly-back comum de TV analógica antiga. O primário desta bobina consiste em 4 a 6 espiras de fio comum no núcleo exposto.

O arco de plasma é obtido entre dois alfinetes separados de 2 a 5 mm de distância, de acordo com a tensão obtida. O ajuste é feito em R1 e R2 que podem ser de 47 k.

A bateria B fornece 6 V (4 pilhas) e a fonte de 12 V deve ter pelo menos 3 A de corrente. O circuito é dado na figura 68.

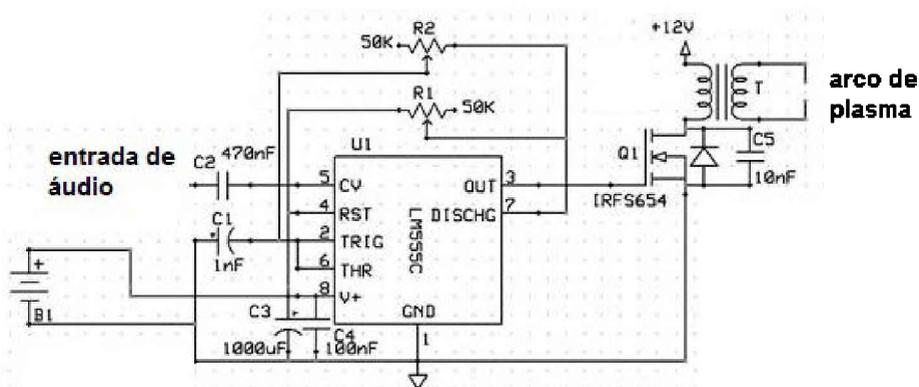


Figura 68 – Simples alto-falante de plasma

Ao que parece, a resposta de frequência está diretamente ligada a potência da faísca. Vemos que pequenas faíscas, como as de velas de carro, produzem sons agudos e que enormes faíscas como os raios, produzem sons graves.

Assim, o alto-falante experimental dado deve funcionar como um tweeter.

#### **4.4 - Alto-Falantes Eletrostáticos**

A ideia básica deste alto-falante é a de que duas placas carregadas com cargas de sinais opostos se atraem e com cargas de sinais iguais se repelem.

Se estas placas tiverem certa flexibilidade ou ainda forem móveis a atração e a repulsão pode fazer com que sejam geradas ondas sonoras.

Outra possibilidade é usar um material flexível como diafragma de modo que ele sofra deformações sob o campo elétrico e com isso produza sons.

Para se ter uma boa força de atração e repulsão num sistema deste tipo, deve-se trabalhar com tensões elevadas, da ordem de milhares de volts.

Desta forma, o tipo mais comum, que já pode ser encontrado à venda, consiste em placas de metal de grandes dimensões que estão submetidas a um sinal de áudio de alta tensão, conforme mostra a figura 69.

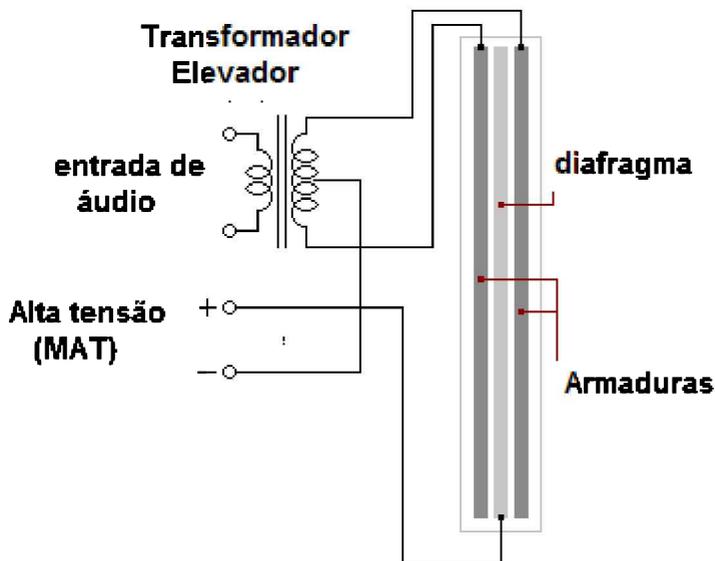


Figura 69 – Um alto-falante eletrostático

Se invertermos um pequeno transformador de 110 V ou 220 V com 6 a 12 V de secundário e ligarmos o secundário na saída de um amplificador, podemos ter um alto-falantes experimental eletrostático.

Basta ligar o primário em duas folhas de alumínio esticadas de uns 40 x 40 cm cada uma separadas uma da outra de uns 2 ou 3 cm. Com o sinal de áudio, as folhas vibram produzindo sons.

Na figura 70 mostramos como fazer isso.

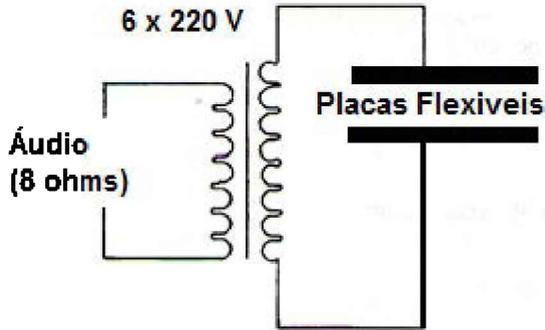


Figura 70 - Alto-falante eletrostático experimental

Na figura 71 temos um alto-falante eletrostático comercial de grande potência que se caracteriza por ser capaz de reproduzir sons muito graves com excelente rendimento e fidelidade.

Como subwoofer ele pode reproduzir sons abaixo de 30 Hz com facilidade. Seu preço, entretanto é elevadíssimo.



Figura 71 – Alto-falantes eletrostáticos comerciais

#### 4.5 - Alto-Falantes Giratórios

Uma tecnologia interessante que apresenta algumas soluções na internet em <http://www.eminent-tech.com/main.html>

Neste sistema é utilizado um ventilador em que a inclinação das

pás é controlada pelo sinal de áudio. Desta forma, o fluxo de ar varia produzindo assim uma onda sonora.

O alto-falante é vendido pela empresa cujo site é dado acima e tem um custo bastante elevado, destinado basicamente à reprodução de sons graves.

Na figura 72 temos a foto deste alto-falante.



Figura 72 – Alto-falante rotativo – as posições das pás são moduladas pelo sinal de áudio

Segundo o fabricante, este alto-falante pode reproduzir sinais abaixo de 20 Hz, o que não se consegue com um subwoofer comum.

As especificações deste alto-falante são muito interessantes:

Resposta de frequência: 1 a 30 Hz

Potência do amplificador exigida: 150 W

Sensibilidade: 94 dB 1 W - 1 metro em 10 Hz

Distorção típica: 3% de 1 a 20 Hz

Preço: U\$ 12 900,00

Também podem ser obtidos serviços de projeto e instalação.

### **Alto Falante Mais Potente**

Uma pergunta freqüente: Tenho um amplificador de 20 W de potência. Se eu ligar na saída uma caixa com um alto-falante de 100 W o som fica mais "alto" (forte)?

Sempre explicamos que energia não pode ser criada. Se o amplificador fornece 20 W de potência (energia por unidade de tempo) o que quer que você ligue na saída dele não poderá fornecer mais do que 20 W de som. Assim, mesmo que o alto-falante usado seja de 100 W, quando você colocar seu amplificador no máximo ainda assim você terá 20 W de som. O que é preciso observar neste caso para se ter bom rendimento é que o alto-falante tenha uma potência que seja igual ou um pouco maior do que a do amplificador, para que ele não seja forçado, e que a impedância deste alto-falante seja a exigida para se obter a potência desejada. Por exemplo, um amplificador que fornece 20 W com 4 ohms, fornecerá menos com 8 ohms.

## **4.6 - Especificações dos Alto-falantes**

Os alto-falantes são especificados por características elétricas e mecânicas como:

**Impedância, Potência, Curva de resposta, Peso e Dimensões**

A potência de um alto-falante não indica quanto de som ele vai produzir quando ligado a um amplificador, mas sim o máximo que ele suporta.

Não adianta nada colocar alto-falantes de 200 W no som de seu carro, se o seu amplificador só produz 50 W.

O som obtido será apenas de 50 W. É claro que colocar alto-falantes com um pouco de mais potência dá segurança ao sistema, pois teremos certeza de que nunca eles serão sobrecarregados.

Mas essa margem de segurança não precisa ser muito grande. É muito comum que os fabricantes de alto-falantes indiquem a potência

dos seus produtos em watts PMPO. O valor "PMPO" falseia a potência real de um produto que tem uma potência real muito menor. Assim, um alto-falante indicado para 500 Wpmpto, talvez não suporte mais do 50 a 100 Wrms (potência real), o que exige muito cuidado de quem o usa!

### Potência

Veremos mais adiante como usar os alto-falantes em função de suas especificações

Uma outra especificação importante dos alto-falantes é a sua impedância, medida em ohms.

A impedância diz como o alto-falante se comporta ao ser ligado em conjunto com outros ou ligado à saída de um amplificador.

A máxima transferência da potência de um amplificador para um alto-falante ocorre quando suas impedâncias são iguais.

Assim, quando escolhemos um alto-falante para ligar a um sistema amplificador precisamos também estar atentos à sua impedância.

## 4.7 - Potência dos Alto-Falantes e Impedância

A principal especificação dos alto-falantes é a sua impedância.

Na verdade, os alto-falante possuem uma impedância que depende da freqüência conforme mostra a figura 73.

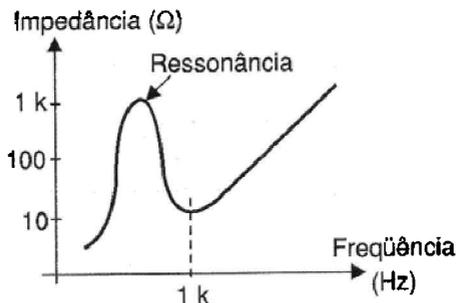


Figura 73 – Curva característica de um alto-falante

O valor nominal da impedância de um alto-falante normalmente é dado para o ponto da característica em que ela é menor, o que costuma estar em torno de 1 kHz.

Os alto-falantes comuns são dispositivos de baixas impedâncias com valores típicos como 3,2 ohms, 4 ohms, 8 ohms 16 ohms, etc.

Veja que se trata de uma impedância e não da resistência que o alto-falante deve apresentar quando o testamos com o multímetro, conforme mostra a figura 74.

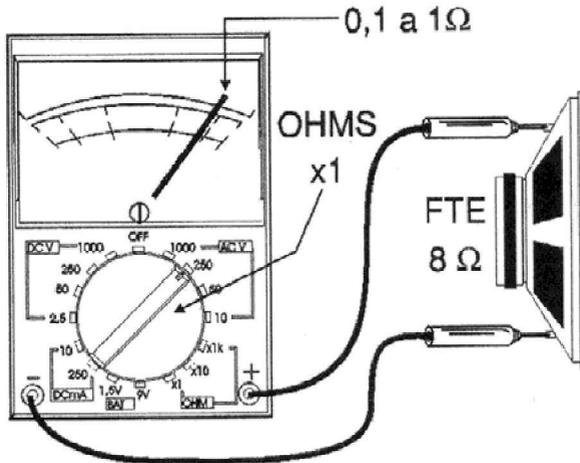


Figura 74 – Medindo a resistência ôhmica

O multímetro mede a resistência ôhmica da bobina, ou seja, sua resistência para uma corrente contínua, um valor normalmente muito menor do que a impedância.

Conhecer a impedância de um alto-falante é de fundamental importância para que possamos usá-lo sozinho ou associado a outros alto-falantes num sistema de som.

Conforme mostra a figura 75, um amplificador entrega sua máxima potência a um alto-falante quando as impedâncias são iguais. A impedância de saída do amplificador deve ser a mesma que a do sistema de alto-falantes.

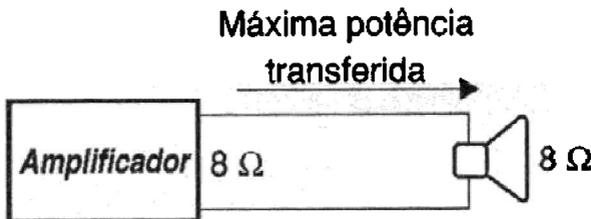


Figura 75 – Máxima transferência de potência

Se ligarmos à saída de um amplificador um alto-falante ou caixa de som que tenha impedância menor do que a da saída do amplificador, haverá uma sobrecarga dos circuitos de saída com a possível queima de componentes ou ainda atuação do sistema de proteção, impedindo o funcionamento.

Por outro lado, se ligarmos à saída de um amplificador uma caixa ou alto-falante com impedância maior, o sistema funcionará normalmente, mas com menor potência máxima.

Um outro ponto importante a ser observado nos alto-falantes é a sua fase, dada por uma marca nos terminais de ligação, normalmente um símbolo (+).

O que ocorre é que, o sentido de circulação da corrente na bobina de um alto-falante determinará o sentido do movimento do cone.

Assim, conforme mostra a figura 76, se o sinal for positivo no terminal (+) em determinado instante, o movimento do cone será para frente.

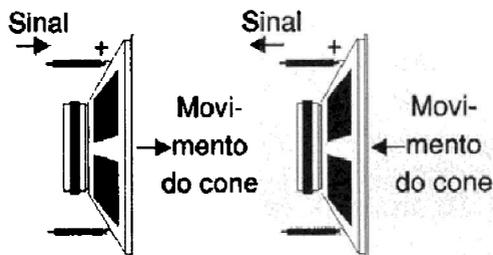


Figura 76 – Movimento do cone conforme a fase do sinal

Se o sinal aplicado ao terminal (+) num determinado instante for negativo, o movimento do cone será para trás.

O conhecimento da fase de alto-falantes é muito importante quando temos um sistema com diversos deles, conforme mostra a figura 77.

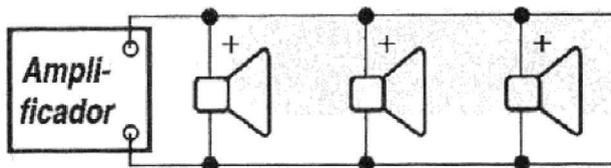


Figura 77 – Sistema com vários alto-falantes

Devemos cuidar para que todos os alto-falantes estejam em fase, pois se num determinado instante quando a polaridade do sinal for para alguns cones de alto-falantes se movendo para frente e outros para trás provocarão uma interferência destrutiva que afetará a qualidade do sinal.

Conforme mostra a figura 78, em que temos alto-falantes ligados em conjunto, a fase de todos eles deve ser a mesma.

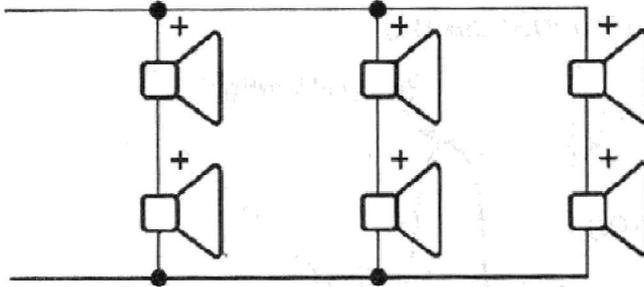


Figura 78 – Alto-falantes com as fases corretas

É por esse motivo que os fios de conexão às caixas acústicas e mesmo sistemas de som normalmente são de duas cores, vermelho e preto, sendo o fio vermelho sempre ligado ao terminal (+) do alto-falante ou da caixa.

#### **Associação de alto-falante**

Como ligar corretamente mais de um alto-falante a um amplificador será estudado mais adiante nesta mesma lição.

Finalmente, devemos falar da potência de um alto-falante. Para esse assunto vamos antes comentar o modo como essa grandeza é especificada, e que em alguns casos é de forma enganosa.

A potência real ou quanto de energia por segundo um sistema amplificador entrega a um alto-falante é dada em termos RMS ou Root Mean Square que traduzido significa valor médio quadrático.

Se levarmos em conta um sinal senoidal, que corresponde a um som puro, esse valor corresponde a aproximadamente 0,707 do valor máximo que o sinal atinge num semiciclo, conforme mostra a figura 79.

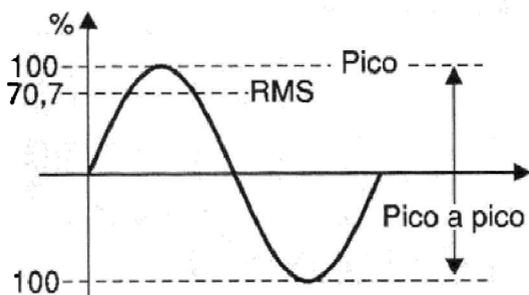


Figura 79 - Potências

Trata-se, portanto, de uma média que indica o valor real ao longo de todo o semiciclo do sinal.

No entanto, os fabricantes de equipamentos de som descobriram que podiam "aumentar" o valor da potência especificada pelos seus equipamentos se em lugar de indicarem a potência rms indicassem o valor de pico (peak).

Isso dava lhes um ganho razoável no número usado na propaganda, é claro sem mudar nada no som reproduzido.

Assim, um amplificador de 70 W rms se tornava um amplificador de 100 W de pico! (justificando eventualmente um preço mais alto).

Mas, a coisa não parou por aí. Vemos que se pegarmos o pico da potência num semiciclo, conforme mostra a figura 80, por uma fração extremamente pequena de tempo, o amplificador praticamente descarrega o capacitor de filtro de sua fonte no alto-falante, produzindo um pico de potência instantânea muito maior que o próprio valor de pico.

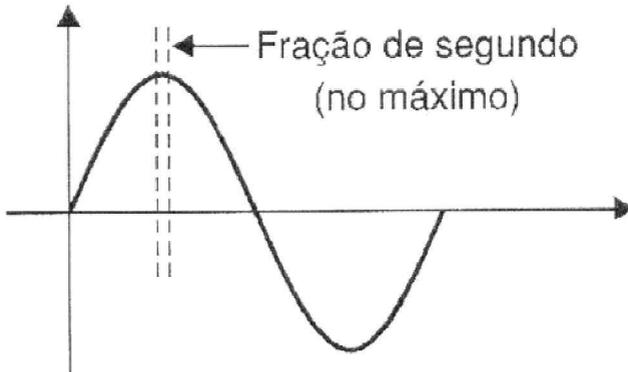


Figura 80 – Potência máxima por fração de segundo

Esse pico pode chegar a 4 vezes a potência de pico, se bem que seja tão curto que não represente acréscimo perceptível no que ouvimos.

No entanto, para os fabricantes esse pico é importante porque pode ajudá-los a "vender" a falsa ideia de que seu amplificador é muito mais potente do que é realmente...

Os fabricantes passam então a usar o termo PMPO para indicar esse valor instantâneo da potência.

Assim, nosso amplificador de 70 Wrms (real) que se tornou 100 w de pico, passa a ter 400 W pmpo e até mais, conforme o modo como seja feita a medição...

Nada mudou no amplificador que continua o mesmo, mas a propaganda cresce a potência e o vendedor tem mais argumentos para vender o produto aos que nada sabem...

Já chegamos a pegar uma caixa amplificadora para computadores com um amplificador de 3 W no interior (rms) que era anunciada como 100 W de potência (pmpo).

Para os alto-falantes é comum que as potências sejam especificadas nos dois termos. O leitor deve ter cuidado pelos seguintes motivos.

O primeiro é que um alto-falante não vai fornecer a potência indicada se o amplificador não a tiver.

Assim, de nada adianta você ligar um alto-falante de 100 W num amplificador de 10 W. O alto-falante só vai reproduzir 10 W de potência.

O segundo motivo é que o alto-falante deve ser capaz de suportar a potência fornecida pelo amplificador, dando-se, é claro, uma margem de segurança.

Se o seu equipamento de som fornece 100 W rms você precisa usar uma caixa ou alto-falantes que suportem pelo menos 100 W rms.

É claro que se o sistema tiver vários alto-falantes a potência do amplificador vai se dividir entre eles.

Uma margem de segurança é recomendada, para que os alto-falantes não trabalhem no limite o que pode causar aquecimento excessivo de suas bobinas ou sobrecarga do sistema mecânico, danificando-o em pouco tempo.

## 4.8 - Associação de Alto-Falantes

Estudamos até agora o princípio de funcionamento dos alto-falantes comuns, explicando que existem certos cuidados no modo como devem ser ligados.

Agora analisaremos em especial a maneira de se usar diversos alto-falantes em conjuntos, para obter o máximo rendimento e também não correr o risco de causar danos a esses alto-falantes e aos amplificadores.

Além da potência máxima que os alto-falantes podem suportar, duas informações são de grande importância quando vamos ligá-los em conjunto: a faixa de frequências que reproduzem e a sua impedância.

Conforme mostra a figura 81, e conforme já estudamos, existem alto-falantes que reproduzem faixas específicas de frequências, ou seja, graves, médios e agudos.

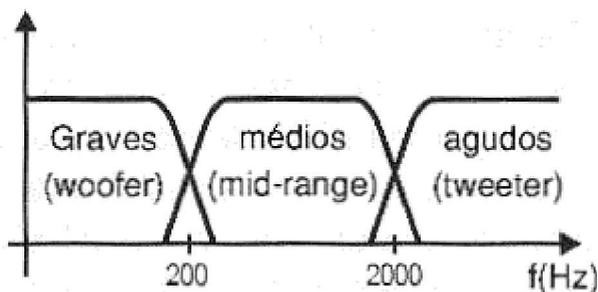


Figura 81 – As faixas de som

Isso significa que, uma primeira maneira de se associar alto-falantes num conjunto consiste em se combinar dois ou três tipos deles de modo que toda a faixa de frequências seja coberta.

Podemos então usar um extended range com um tweeter, conforme mostra a figura 82.

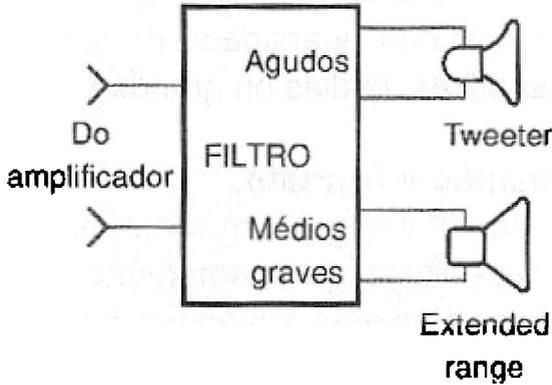


Figura 82 – Usando um extended-range

No entanto, para que esses dois alto-falantes sejam usados corretamente é preciso agregar um filtro que separe os sinais das frequências que eles devem reproduzir, conforme mostra a mesma figura.

Os filtros podem ser comprados prontos ou ainda elaborados pelo próprio instalador. Uma maneira muito simples de se obter um filtro consiste simplesmente em se bloquear as baixas e médias frequências que chegariam ao tweeter usando um capacitor polarizado ou par de capacitores em oposição, conforme mostra a figura 83.

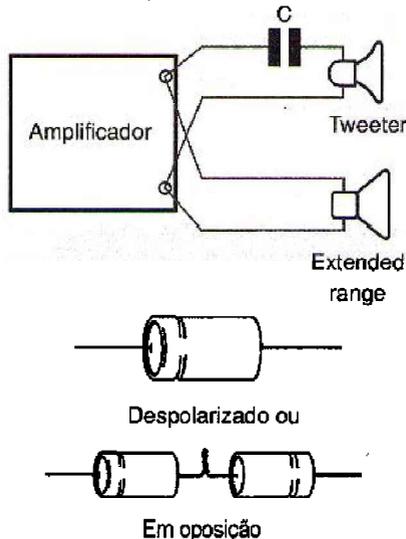


Figura 83 – Capacitor como filtro de agudos

Se sinais de baixas e médias frequências chegarem ao tweeter eles podem causar a sobrecarga desse componente transformando-se em calor e com isso também causando uma perda no sistema.

Os valores dos capacitores dependem da potência e da impedância do tweeter ficando tipicamente entre 2,2 uF e 22 uF para as aplicações comuns. Uma outra maneira de se aumentar a eficiência do filtro consiste em se agregar em série com o alto-falante de médios e graves uma bobina para impedir que o agudos cheguem até ele, conforme mostra a figura 84.

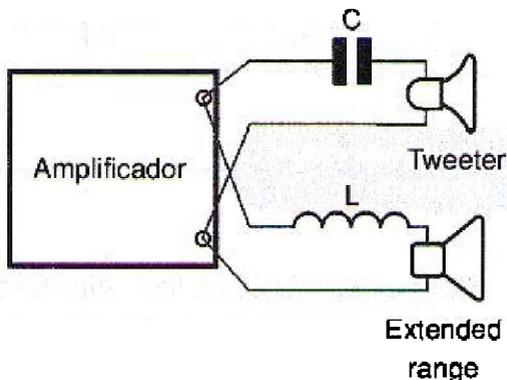


Figura 84 – Separando graves e agudos

O valor da bobina, ou seja, número e tipo de fio, depende de diversos fatores tais como a impedância do alto-falante, potência do amplificador etc.

Uma forma mais sofisticada de se fazer a separação dos sinais ocorre quando usamos três alto-falantes, conforme mostra a figura 85.

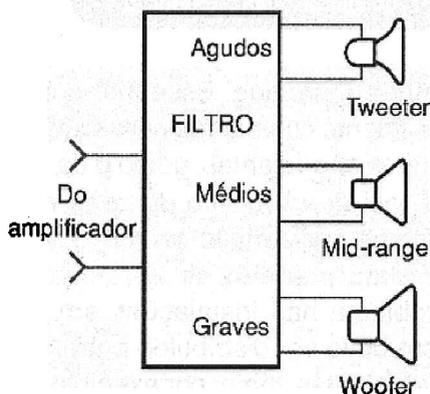


Figura 85 – Um sistema de 3 canais

Nesse caso, temos um filtro em série com o tweeter para bloquear os graves e médios, um filtro passa faixas em série com o mid-range para deixar passar apenas os médios e finalmente um filtro passa baixas em série com o woofer, para deixar passar apenas os graves.

Esse tipo de filtro divisor de frequências pode ser adquirido pronto, mas pode ser implementado com capacitores e indutores, conforme mostra a figura 86.

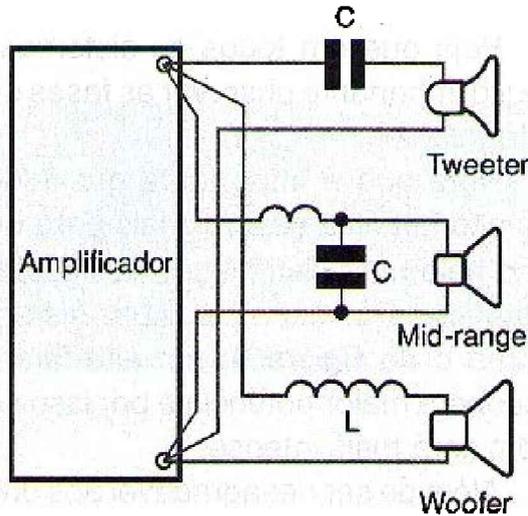


Figura 86 – Um filtro mais elaborado para 3 alto-falantes

Os valores dos componentes usados dependem da potência do amplificador e das impedâncias dos alto-falantes usados.

### Cálculos

Teremos mais adiante uma lição específica sobre o projeto de filtros

De qualquer forma, os alto-falantes para as diversas faixas nunca devem ser ligados sem os filtros aos amplificadores, pois além da sobrecarga que causam ao amplificador, eles mesmos podem sofrer danos irreversíveis.

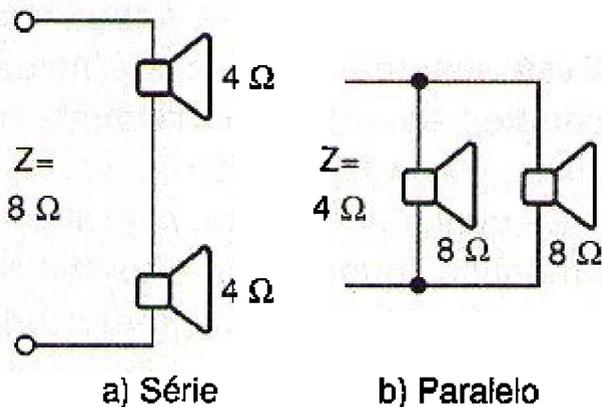
## 4.9 - Ligações Série e Paralelo de Alto-Falantes

Da mesma forma que outros componentes eletrônicos, os alto-fa-

lantes podem ser ligados em série e em paralelo para haver uma distribuição do som.

O modo como eles são ligados determinará as características do sistema e, portanto, como o som vai se distribuir.

Na figura 87 temos as ligações série e paralelo de dois alto-falantes, as quais servem de ponto de partida para nossas explicações.



*Figura 87 – Modos de ligação*

Na ligação em série as impedâncias dos alto-falantes se somam.

Por exemplo, dois alto-falantes de 4 ohms se comportam como um de 8 a a potência se distribui igualmente entre eles. se as impedâncias forem diferentes, a distribuição do som não será igual.

Por esse motivo, ao ligar alto-falantes em série deve-se cuidar para que sejam todos iguais.

Na ligação em paralelo, a impedância ficará dividida. Se dois alto-falantes de 8 ohms forem ligados em paralelo, a impedância final obtida será de 4 ohms.

Podemos ligar diversos alto-falantes num sistema, conforme mostra a figura 88. Nela temos as impedâncias resultantes.

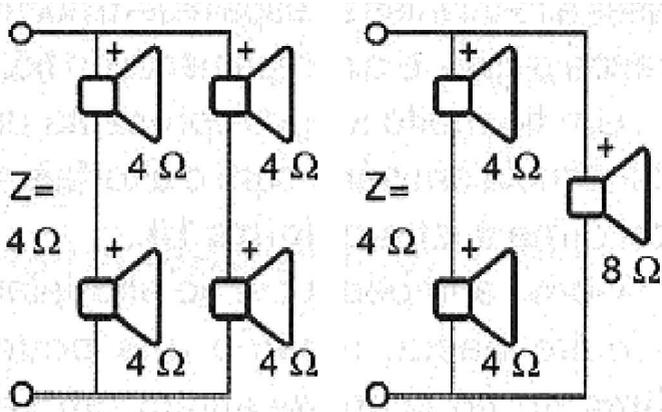


Figura 88 – Ligação de diversos alto-falantes

Veja que em todos os sistemas é muito importante observar as fases dos alto-falantes.

Observe também que é importante que todos os alto-falantes sejam iguais para que não haja uma distribuição desigual da potência.

Por exemplo, num sistema como o da figura 89, um alto-falante receberá maior potência e por isso seu som será mais intenso.

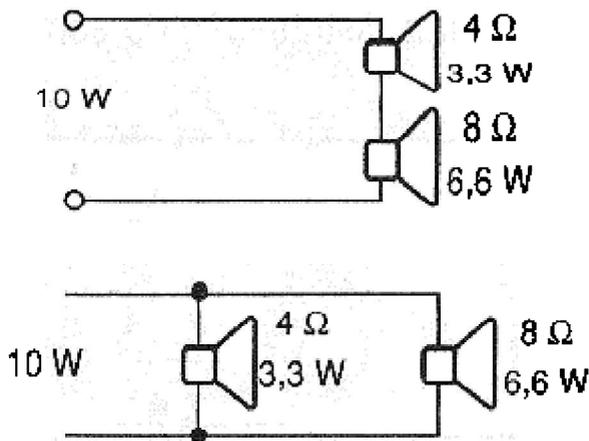


Figura 89 – Má distribuição de potência

Além de ser desagradável aos ouvidos, isso pode causar a sobrecarga desse alto-falante que recebe maior intensidade de sinal.

## 4.10 - Linhas de Distribuição

Um problema desagradável que ocorre quando tentamos distribuir o som de um equipamento por diversas caixas e que a ultima ou que está mais longe do amplificador recebe menos potencia e por isso "toca" mais baixo. Este mesmo problema e notado quando ligamos um fio muito comprido da caixa ate o amplificador. Como solucionar isso? Veja a figura 90.

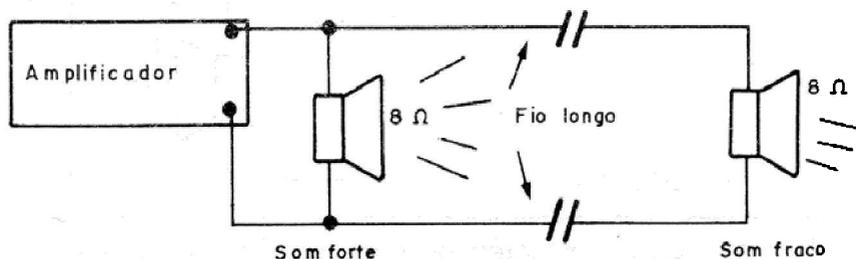


Figura 90 – Atenuação em fios longos

O que ocorre é que o fio de ligação do amplificador à caixa apresenta uma resistência que do mesmo modo que a impedância do alto-falante, é medida em ohms. Supondo que o fio de ligação ao alto-falante tenha uma resistência total de (4 ohms e esta seja também a impedância do alto-falante, a potencia do amplificador simplesmente fica dividida por 2 e o alto-falante recebe metade da potência e a outra metade se perde no fio. A figura 91 mostra o que ocorre.

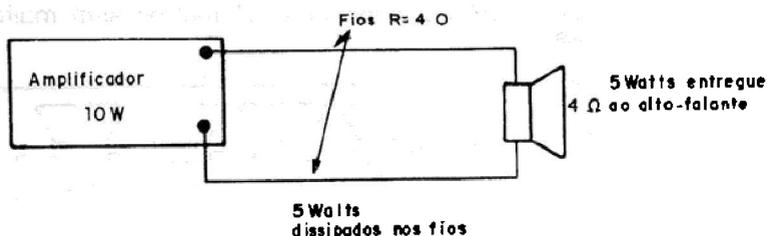


Figura 91 – A potência se divide entre o fio e o alto-falante

Os problemas de resistência do fio se tornam mais graves quando a impedância do alto-falante é mais baixa. Assim, ligando um alto-falante remoto de 4 ohms, perdemos mais potencia do que no caso de um de 8 ohms. Veja isso na figura 92.

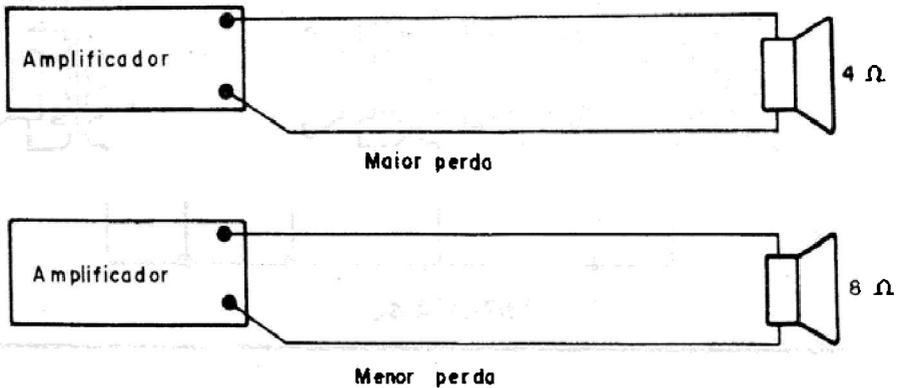


Figura 92 – Perda maior com alto-falantes de baixas impedâncias

O uso de fios mais grossos ajuda a reduzir as perdas no sentido de que eles possuem resistências mais baixas.

Damos então uma tabela com os comprimentos máximos de fio recomendados para algumas espessuras e as impedâncias dos alto-falantes de modo que as perdas fiquem num nível aceitável (menos de 20%).

ESPESSURA DO FIO	4 OHMS	8 OHMS
22	6 metros	12 metro
20	10 metros	20 metros
18	15 metros	20 metros
16	20 metros	40 metros

Veja que distâncias maiores já consistem em problemas, pois fios mais grossos além de caros começam a significar problemas de instalação. Como resolver este problema, por exemplo, num sistema de som ambiente?

Uma primeira saída é se todos os alto-falantes do sistema devem funcionar com o mesmo volume e ao mesmo tempo e pensar na ligação em serie e um amplificador que tenha uma impedância de saída mais alta, por exemplo, 16 ohms ou mesmo 32 ohms, e temos então fazer uma ligação conforme a da figura 93 que pode levar o som até uma distância superior a 60 metros sem muitos problemas de perdas.

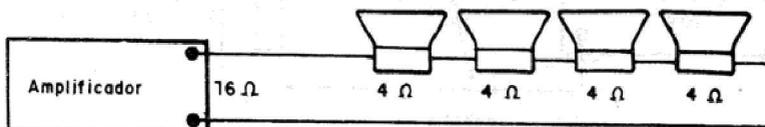


Figura 93 – Ligação em série

Para consultórios, escritórios em que desejamos distribuir de maneira quase independente som entre várias caixas, o melhor é usar uma linha de alta impedância.

Se a impedância das caixas ou alto-falantes for muito maior do que a resistência apresentada pelo fio de conexão, então as perdas ficam reduzidas. Por outro lado, podemos ligar muitos alto-falantes ao mesmo tempo sem que isso signifique uma redução perigosa da impedância total que prejudique o amplificador.

Uma saída interessante e eficiente é mostrada na figura 94.

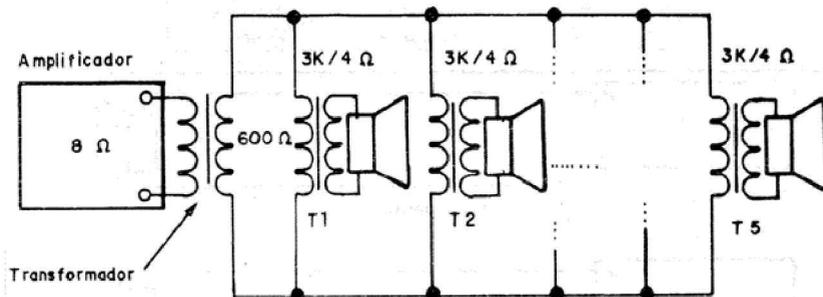


Figura 94- Usando transformadores

O sinal tem sua impedância elevada para 600 ohms na saída do amplificador e é transmitido por distâncias superiores a 500 metros sem perdas apreciáveis.

Podemos então tomar o sinal de qualquer ponto desta linha ligando, por exemplo, 5 alto-falantes por meio de transformadores que possuem um primário de 3 000 ohms e secundário de 8 ou 4 ohms, conforme o alto-falante.

Os 5 transformadores' de 3 000 ohms em paralelo resultam justamente em 600 ohms.

Se tivermos um amplificador com saída de 100 ohms podemos ligar então 50 transformadores de 5 000 ohms, cada qual com um alto-falante.

Para ter um controle de volume independente em cada alto-falante fazemos o uso de um potenciômetro, conforme mostra a figura 95.

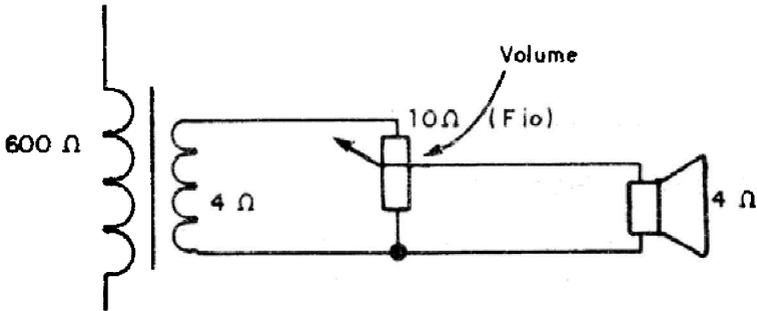


Figura 95 – Controle de volume independente

Este sistema indicado para som ambiente tem a vantagem de que a operação de cada alto-falante é independente.

Na verdade, os transformadores não precisam ter exatamente as impedâncias indicadas. O leitor pode fazer experiências com o transformador que tiver disponível, já que os tipos indicados são difíceis de encontrar em alguns casos.

No planejamento do sistema devemos apenas levar em conta as impedâncias totais e a quantidade de alto-falantes para que tudo case perfeitamente e não ocorram as tão indesejáveis perdas.

Amplificadores de sonorização ambiente já são providos de saídas com impedâncias altas para possibilitarem este tipo de aplicação o que não ocorre com amplificadores comuns que devem então fazer uso de transformadores ou então usarem uma quantidade de saídas (falantes remotos) tal que no total resulte na impedância disponível.

Os fios de sonorização ambiente não precisam ser blindados, mas deve ser levado em conta que, quanto maior for o comprimento, maior será o efeito de capacitância entre os cabos.

Esta capacitância tem por resultado uma redução do nível dos sons agudos. Em outras palavras, na distribuição de som por meio de fios longos as perdas são maiores com os sons de altas frequências. Veja o que ocorre na figura 96.

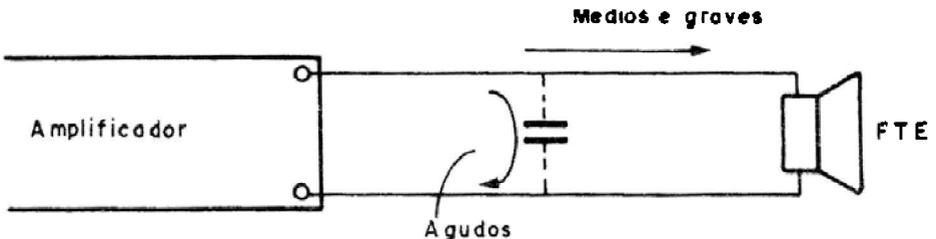


Figura 96 – influência da capacitância do cabo

Mexendo no seu som doméstico o leitor deve ter muito cuidado ao tentar expandi-lo acrescentando caixas ou levando-o a locais remotos, pois as perdas não só são de intensidade como de qualidade.

Se a instalação não for bem planejada, mesmo que seu equipamento seja de ótima qualidade, a reprodução final, principalmente nos locais mais remotos ficará comprometida. Leve tudo o que dissemos em conta ao fazer o planejamento e instalação.

### Som ambiente

Para distribuição do som em grandes ambientes, com diversas caixas, por exemplo em hotéis, existem técnicas especiais que podem ser encontradas no site do autor.

Acrescente-se ao comprimento do fio, além das perdas, as modificações da qualidade que ocorrem devido à sua indutância, conforme mostra a figura 97.

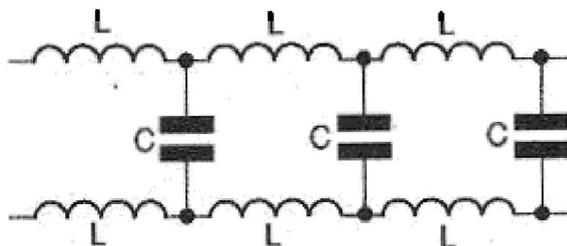


Figura 97 – Circuito equivalente a uma linha de transmissão

Um par de fios longo representa uma indutância e uma capacitância que tanto afetam os sinais graves como agudos. Em outras palavras a qualidade do som que chega ao alto-falante fica alterada no seu percurso.

Para se evitar esse problema existem cabos especiais de áudio adquiridos em casas especializadas que reduzem os efeitos da capacitância e da indutância, além de possuírem menor resistência.

Eles devem ser os preferidos de quem é exigente com o som. Para que o leitor tenha uma ideia existem cabos de altíssima qualidade,

com ouro na sua composição e que custam nada mais, nada menos do que mil dólares o metro...

Nesse ponto alertamos ainda que os sinais de vídeo são diferentes dos sinais de áudio. A faixa de frequências dos sinais de vídeo está em torno de 4,5 MHz enquanto que os sinais de áudio vão de poucos hertz até uns 20 kHz nos sistemas comuns.

Essa diferença faz com que as tecnologias usadas nos cabos para esses sinais sejam diferentes. Os cabos de vídeo não são apropriados à condução de sinais de áudio e vice-versa. Tenha cuidado na aquisição.

### **4.11 - Fase de Sistemas de Alto-Falantes**

Em instalações de alto-falantes é comum o uso de fios de duas cores (preto e vermelho) sem que, no entanto, seja dada importância ao fato deles terem essas cores para identificar sua polaridade.

A polaridade dos alto-falantes, mesmo tratando-se de dispositivos que reproduzem sinais alternados, é importante pelo fato dela determinar a fase dos sinais.

Os alto-falantes reproduzem os sons pela movimentação de um cone de papelão ou plástico para frente e para trás quando a bobina acoplada a este cone é percorrida por uma corrente fornecida pelo amplificador, conforme ilustra a figura 98.

O ar na frente e por trás do alto-falante é comprimido e descomprimido, criando uma perturbação (ondas de compressão e descompressão) que se propaga pelo espaço.

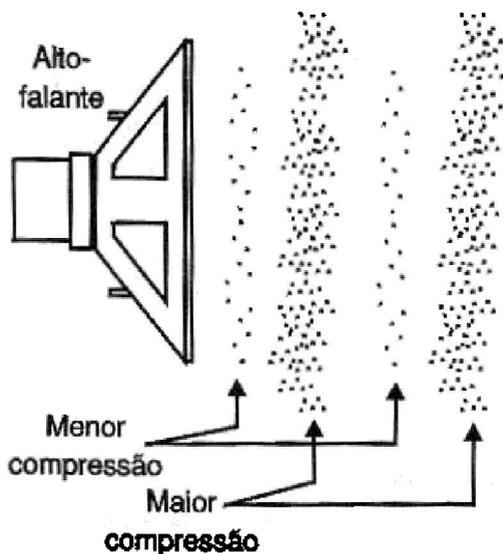


Figura 98 – Ondas sonoras produzidas por um alto-falante

O sentido da força a que o cone é submetido depende, portanto, do sentido de circulação da corrente em sua bobina e da polaridade de um ímã permanente.

Se tivermos um único alto-falante reproduzindo um sinal sonoro, a polaridade do sinal não é importante, pois os efeitos obtidos quando o ar é movimentado num sentido ou noutro é o mesmo para nossos ouvidos: em ambos os casos, conforme mostra a figura 99, é criada uma perturbação sonora com a forma de onda do som original que se propaga até os nossos ouvidos.

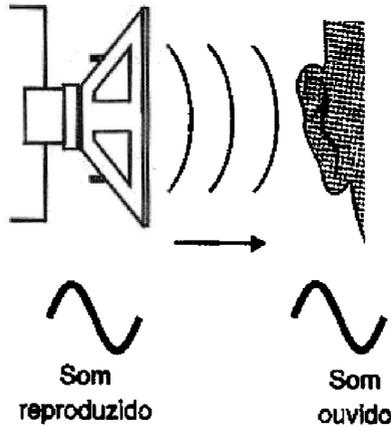


Figura 99 – A sensação sonora

Entretanto, se tivermos dois alto-falantes que devam reproduzir o mesmo sinal, é muito importante que isso ocorra com um movimento coordenado de seus cones.

Assim, se os cones tenderem a se movimentar em sentidos opostos com o mesmo semiciclo de um sinal, observe a figura 100, ocorrerá um fenômeno de “interferência destrutiva”.

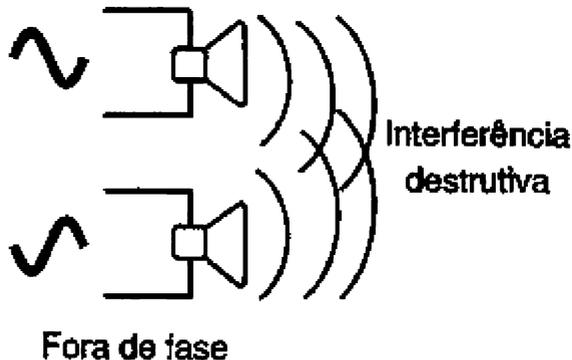


Figura 100 – A interferência destrutiva

Nos pontos em que temos maior grau de compressão do ar provocada por um dos alto-falantes, o outro, por se movimentar em sentido contrário, provoca descompressão. Em outras palavras, neste local o

sinal se anula. Se os dois alto-falantes estiverem muito próximos ou numa mesma caixa acústica, a ligação que os leva a funcionar desta forma é altamente prejudicial à qualidade da reprodução.

Por outro lado, se a movimentação dos cones for tal que tenhamos compressão do ar nos mesmos semiciclos, o rendimento da reprodução será muito maior, veja exemplo na figura 101.

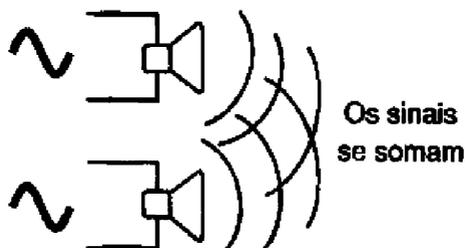


Figura 101 – Interferência construtiva

No primeiro caso, onde os movimentos dos cones ocorrem em sentidos opostos, dizemos que os alto-falantes estão fora de fase, enquanto que no segundo dizemos que os alto-falantes estão em fase.

Como garantir que os alto-falantes tenham seus cones se movimentando no mesmo sentido com o mesmo semiciclo de um sinal de áudio?

Para que a ligação de dois ou mais alto-falantes a um mesmo canal de um amplificador não leve a uma reprodução descontrolada, ou seja, fora de fase, os alto-falantes são dotados de marcações que permitem sua conexão em fase.

O que se faz, então, é aplicar ao alto-falante um sinal, por exemplo de uma simples pilha que leve à circulação de uma corrente num sentido conhecido pela sua bobina, de acordo com a figura 102.

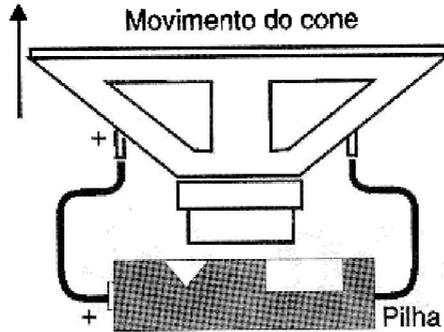


Figura 102 – Descobrimo a polaridade

Se com a aplicação dessa corrente o cone se movimentar para a frente, o polo positivo da pilha estará no pólo positivo do alto-falante.

Veja que a marcação de um (+) num terminal de um alto-falante não tem nada a ver com polaridade ou com a obrigatoriedade de se fixar um sentido de circulação para a corrente.

O (+) indica apenas que, se neste ponto tivermos em determinado instante um sinal que seja positivo em relação ao outro terminal, a movimentação do cone será para frente.

Mas, o importante para o instalador de alto-falantes é observar que num conjunto desses elementos, pela marcação da polaridade ou fase, podemos garantir que o movimento de todos ocorra sempre no mesmo sentido.

Assim, se tivermos alto-falantes em série, por exemplo, 2 deles, conforme indica a figura 103, teremos duas possibilidades para a conexão.

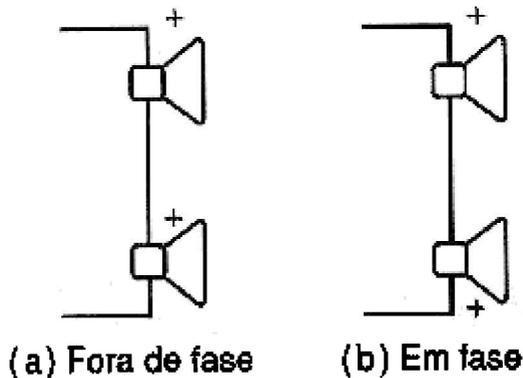


Figura 103 – Observando a fase

No primeiro caso, os sinais (+) estão em posições tais que, para cada semiciclo do sinal, eles serão percorridos sempre em sentidos diferentes, ou seja, enquanto um tem o cone indo para frente, o outro o tem para trás.

Dizemos nestas condições que os alto-falantes estão fora de fase.

Por outro lado, se os alto-falantes estiverem ligados de acordo com a mesma figura em (b), para cada semiciclo do sinal, a movimentação do cone ocorrerá nos dois alto-falantes no mesmo sentido.

Dizemos que, nessa situação, que os alto-falantes estão em fase.

Veja então que é importante observar este tipo de conexão, por exemplo, num carro ou numa caixa acústica, que são ambientes em que precisamos garantir que os alto-falantes estejam em fase para que não ocorram problemas de distorções ou perdas de rendimento.

O mesmo é válido para os alto-falantes ligados em paralelo, observe a figura 104.

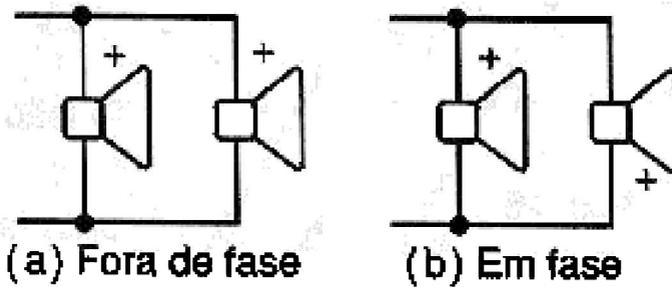


Figura 104 – Fase na ligação em paralelo

No primeiro caso, os alto-falantes estão em oposição de fase, pois no mesmo semiciclo do sinal, os movimentos dos cones ocorrem em sentidos opostos. Para a conexão em fase de dois alto-falantes, temos a conexão mostrada em (b) da mesma figura.

Tudo o que vimos é válido para um número maior de alto-falantes, veja exemplo na figura 105.

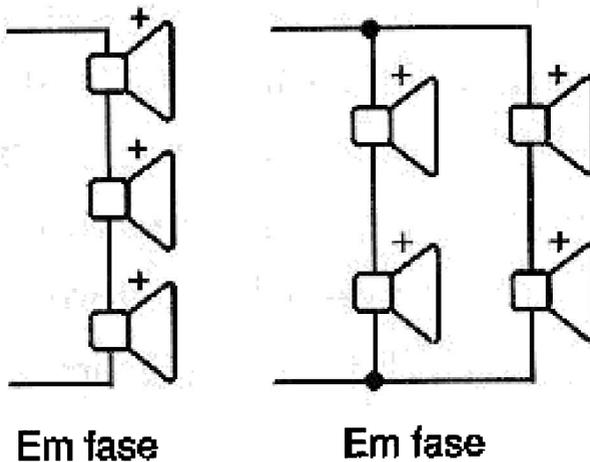


Figura 105 – Fase para diversos alto-falantes

Na prática, fica mais fácil observar a ligação da fase tomando como referência as cores dos fios de conexão do amplificador, pois a saída

de sinal também é polarizada da mesma forma. Por este motivo é que se utilizam fios pretos e vermelhos nas saídas dos amplificadores onde serão ligados os conjuntos de alto-falantes.

Mas, não basta que os alto-falantes de um sistema tenham a ligação correta da fase.

Se tivermos diversos alto-falantes ligados a um mesmo canal de um amplificador, é importante que haja uma correta distribuição da potência entre eles, e isso significa que, além de mesmas características elétricas, eles devem ter também as mesmas características mecânicas.

Assim, não é conveniente ligar alto-falantes de potências e tamanhos diferentes em paralelo, mesmo que suas impedâncias estejam de acordo com o desejado, veja a figura 106.

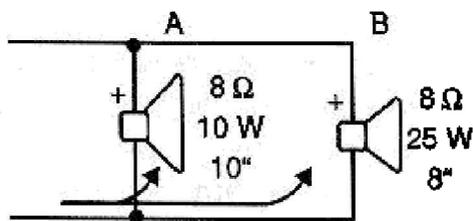


Figura 106 – Distribuição desigual do som

O que acontece é que alto-falantes diferentes possuem curvas de respostas diferentes, de acordo com o indicado na figura 107.

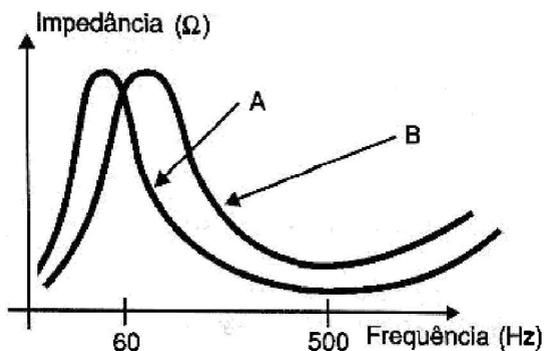


Figura 107 – Curvas de resposta diferentes

Desse modo, para uma dada frequência do sinal, por exemplo, 1 kHz, os alto-falantes terão uma impedância e, portanto, rendimento diferentes.

A repartição da energia do amplificador, será desigual e um dos alto-falantes passará a ter uma reprodução em nível menor que o outro.

Em outras palavras, nestas condições, os alto-falantes se comportarão de modos diferentes na faixa de reprodução do som.

Evidentemente, as potências dos alto-falantes devem ser levadas em consideração, pois eles devem receber sempre um sinal menor do que aquela que sejam capazes de reproduzir. Se a potência aplicada for maior que aquela que eles podem manusear, o resultado poderá ser a queima.

### **Distorção de fase**

Ao tratarmos da qualidade dos sistemas de som e analisarmos os problemas de distorções veremos a distorção de fase.

## **4.12 - Caixas Acústicas**

Os alto-falantes não podem funcionar livremente, sem estarem numa caixa ou local com características acústicas determinadas. A operação em condições impróprias pode não só causar dano ao próprio alto-falante como também resultar num rendimento baixo. Um alto-falante sem caixa ligado na saída de um amplificador pode sofrer danos irreparáveis se abrirmos o volume.

As caixas acústicas não são simplesmente envoltórios para proteger um alto-falante, mas sim dispositivos auxiliares cujas dimensões, formato e material empregados são determinados de tal forma a proporcionar a reprodução ideal do som.

O tipo mais comum de caixa é a refletora de graves (bass reflex) que tem o formato da figura 108.

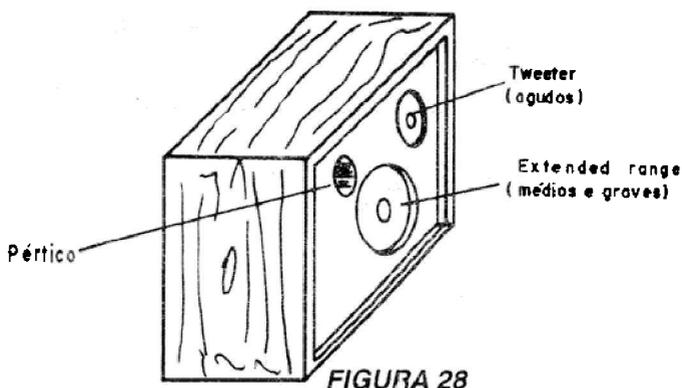


FIGURA 28  
Figura 108 – Uma caixa bass-reflex ou refletor de graves

Nesta caixa existe um pórtilho ou abertura que é muito importante para ajudar a emitir o som que é produzido quando o cone do alto-falante pressiona o ar para o interior da caixa.

Veja então que não basta fazer qualquer caixa e colocar nela qualquer alto-falante para que tenhamos melhor reprodução. Normalmente os fabricantes dos alto-falantes estudam as características de seus componentes e projetam caixas com materiais, formas e dimensões que permitem obter o melhor som.

Fugir destes projetos significa arriscar a qualidade do som e mais do que isso, até forçar o alto-falante. Recomendamos que o leitor que deseja montar sua caixa sempre parta de projetos prontos fornecidos pelos fabricantes e que normalmente são distribuídos gratuitamente nas lojas.

As caixas acústicas podem ter um, dois ou três alto-falantes.

O que ocorre é que normalmente um único alto-falante não consegue sozinho com o máximo de eficiência reproduzir sons de todas as frequências. De modo a termos uma reprodução fiel em toda a faixa que desejamos ouvir, usamos alto-falantes que reproduzem separadamente os sons graves, os sons médios e os agudos.

Estes alto-falantes se distinguem pelo seu tamanho dos alto-falantes de graves, chamados Woofers, são grandes e pesados.

Os alto-falantes de médios são menores e denominados mid-ranges enquanto que os alto-falantes de agudos (tweeters) são pequenos. Na figura 109 temos os diversos tipos de alto-falantes.

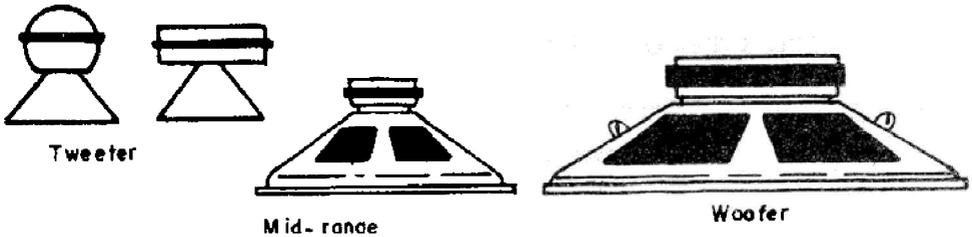


Figura 109 – Alto-falantes de diversos tipos

Em algumas caixas podemos usar apenas dois alto-falantes; um para médios e graves chamado extended range e um para agudos, que é um tweeter. Os alto-falantes para a faixa toda são chamados de full range.

Os alto-falantes são especificados pela sua impedância, potência e faixa de frequências de operação.

A impedância nos diz o modo como devemos fazer a ligação a um amplificador para que seu funcionamento ocorra normalmente.

Se ligarmos um alto-falante de 4 ohms num amplificador cuja saída seja 8 ohms podemos forçar o equipamento.

A potência nos diz até que intensidade de som o alto-falante suporta e isto depende da qualidade do ímã permanente empregado.

Quanto maior o fluxo magnético gerado pelo ímã, melhor será a performance do alto-falante. Se temos um amplificador que tem 50 watts e nosso alto-falante suportar apenas 30 estamos arriscando a queimá-lo.

Para cada tamanho de alto-falante existem distintos tipos de ímãs que mais se adequam ao projeto. Estas famílias de ímãs de alta qualidade são fabricados em nosso país pela Philips Components do Brasil e importados para vários continentes em função de sua reconhecida qualidade.

Devemos sempre usar um alto-falante com potência um pouco maior do que a do nosso equipamento por medida de segurança. Veia que usar um alto-falante de 100 watts num equipamento de apenas 20 watts não significa que teremos 100 watts de som: quem determina a potência sonora é o equipamento e não o alto-falante.

Já a curva de resposta nos diz que frequências nosso alto-falante reproduz e é importante quando vamos usá-lo numa determinada caixa acústica.

### 4.13 - Termos Técnicos Para Alto-Falantes

Certos termos técnicos usados em som e música eletrônica não são muito familiares aos nossos leitores.

O conhecimento técnico do significado destes termos pode ser fundamental tanto na hora de adquirir um novo equipamento e também para se obter a melhor qualidade de som em uma aplicação.

#### Bell Modes

Quando um alto-falante recebe um sinal de um amplificador para ser reproduzido, ele vibra em resposta a estas frequências, mas também tende a vibrar em frequências em que ele seja ressonante.

As novas frequências produzidas por esta ressonância podem afetar a qualidade do som, sendo denominadas tecnicamente de "bell modes" e são produzidas ao longo da circunferência do cone.

A frequência produzida depende da distância do centro do cone em que o fenômeno ocorre, conforme já vimos ao estudar o funcionamento dos alto-falantes.

Os fabricantes de alto-falantes conseguem eliminar este fenômeno através de corrugações colocadas em intervalos regulares do cone.

Um alto-falante que consegue eliminar todas estas frequências espúrias de vibrações é denominado "curvilinear" ou "trumpet cone".

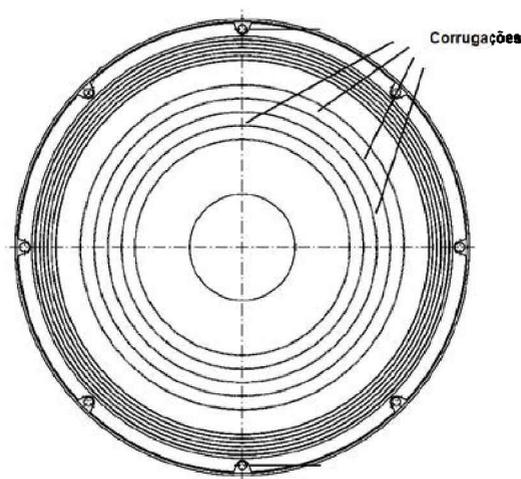


Figura 110 – corrugações do cone

Este é o tipo, recomendado para ser usado com instrumentos musicais onde potências elevadas estão envolvidas.

## BOOMY

Um alto-falante é dito "boomy" quando ele tende a vibrar de forma excessiva em frequências muito baixas.

Normalmente, quando isso ocorre é necessário utilizar um outro gabinete com características de ressonância que evitem o fenômeno.

O que acontece é que os alto-falantes possuem uma frequência de ressonância que está geralmente na faixa inferior dos sons graves, observe a figura 111.

Impedância ( $\Omega$ )

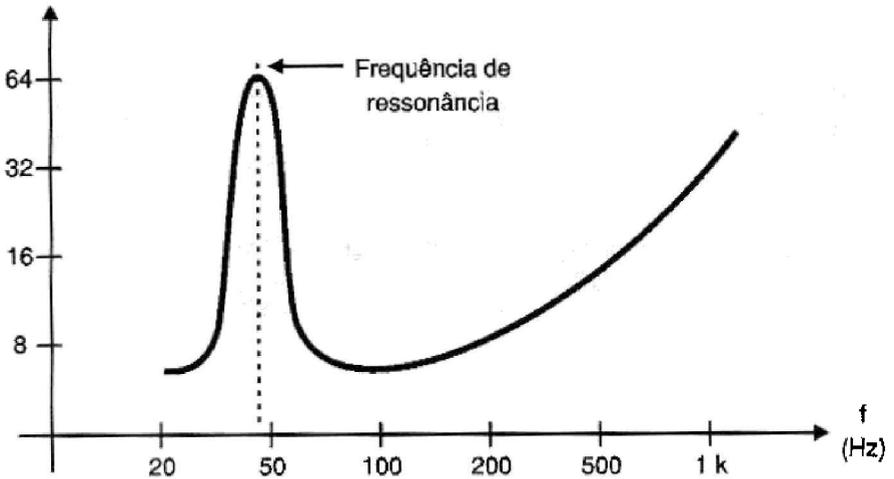


Figura 111 – A frequência de ressonância de um alto-falante

Quando um som nesta frequência deve ser reproduzido, ele tende a fazer o alto-falante vibrar de modo excessivo, causando uma sensação desagradável em quem ouve.

## Compressed

Um som é dito "comprimido" quando ele parece não ser reproduzido com a forma esperada. Isso pode ocorrer com um alto-falante novo, e a explicação para o fato é que um alto-falante tem seu cone feito com polpa de papel agregada a uma mistura de acetona e acrílico.

Este material apresenta uma certa rigidez que faz com que, quando novo, tenha menor flexibilidade afetando, assim a reprodução do som. Depois de algum tempo de uso, esta rigidez diminui e o alto-falante "solta-se", havendo uma melhoria da qualidade do som, que deixa de ser "comprimido".

### **Novos materiais**

Novos materiais estão sendo constantemente utilizados e os alto-falantes que os utilizam não apresentam este problema. Vale a qualidade do material usado.

### **Eficiência**

A quantidade real de energia elétrica que um alto-falante consegue converter em energia acústica é medida pela sua eficiência.

Por incrível que pareça os alto-falantes não são muito bons neste item, daí a necessidade de se aplicar potências elevadas para obter uma energia acústica apenas razoável.

Um alto-falante comum para equipamentos de som de boa qualidade, tem uma eficiência da ordem de apenas 1%. Em outras palavras, quando você aplica 100 W de potência elétrica de um amplificador num alto-falante, na realidade você estará obtendo, com sorte, apenas 1 watt de energia acústica!

O restante da potência, que não foi convertida em som, estará sendo convertida em calor.

### **FS - SYSTEM FREQUENCY**

Todos os equipamentos possuem uma frequência de ressonância, ou seja, uma frequência em que tendem a vibrar naturalmente, quando excitados.

Os alto-falantes, em especial, tendem a vibrar mais intensamente numa baixa frequência, onde sua impedância também é maior, conforme a curva que já vimos nos itens anteriores.

Nos alto-falantes a frequência de ressonância é determinada por suas dimensões físicas e pela natureza do material do qual é construído, além das características do ímã (campo magnético, que funciona como uma mola) e seu formato.

### **Spider (Aranha)**

Qual é a função da aranha existente nos alto-falantes?

Para quem não sabe, a aranha é a peça de material corrugado, normalmente marrom ou amarelo, que existe na base do cone.

A finalidade desta peça é proporcionar a força de retorno ao cone, atuando como uma espécie de mola, levando-o de volta para sua posição de repouso depois que ele faz uma excursão para frente ou para trás na reprodução de um som, conforme mostra a figura 112.

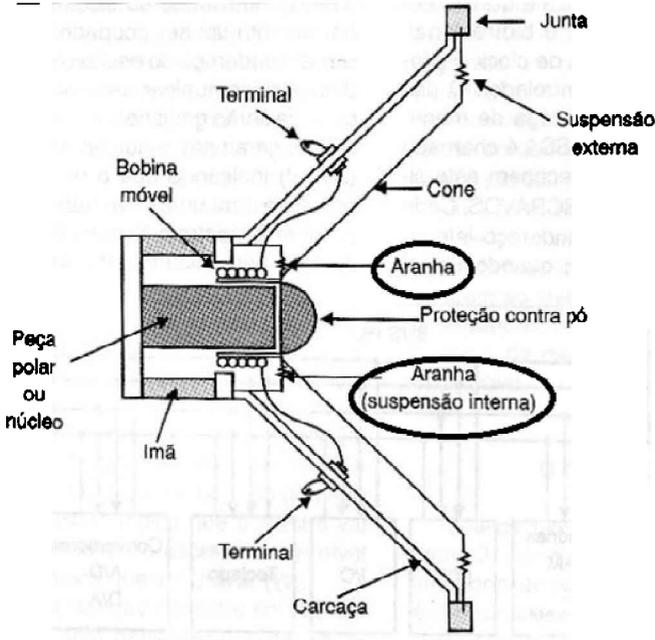


Figura 112 – A Aranha

## SPL

Este termo significa Sound Pressure Level ou Nível de Pressão Sonora.

Esta grandeza é medida em uma unidade denominada Pascal (Pa) e é indicada por muitos fabricantes de alto-falantes como característica de seus componentes.

Da mesma forma que a potência de um alto-falante, a SPL deve ser tanto maior quanto possível para que um bom alto-falante possa suportar a potência aplicada pelo amplificador.

A pressão sonora é calculada em função de diversos parâmetros de um alto-falante, tais como a intensidade do campo magnético do ímã, fator Q, a energia magnética produzida pela bobina móvel, peso ou massa do sistema (cone, aranha, etc.).

## 4.14 - Fones de Ouvido

Os fones de ouvido e auriculares se destinam a audição individual de som, consistindo em dispositivo de potência muito baixa, da ordem de algumas dezenas ou no máxima centenas de miliwatts.

A baixa potência justifica pela proximidade do ouvido, pois com ela, altos níveis de sons podem ser obtidos com facilidade.

Podemos encontrar os fones de ouvido com os mais diversos níveis de qualidade e potência, dependendo a aplicação.

Temos os de muito baixa potência, como os auriculares (destinados a um ouvido apenas) com grande sensibilidade, até os fones de alta fidelidade que podem ser acolchoados e apresentam curvas de respostas que tornam seus preços elevados.

Analisemos o funcionamento dos principais tipos:

#### **4.14.1 - Fones de Cristal ou Auriculares**

Os fones de cristal utilizam tanto sal de Rochelle como uma cerâmica piezoelétrica como elementos básicos.

Estas substâncias têm características piezoelétricas deformando-se quando uma tensão é aplicada.

Os fones de sal de Rochelle, mais antigos, como o mostrado na figura 1, se deterioram com o tempo, pois absorvem umidade, perdendo suas características elétricas.



Figura 113 – Fones de cristal

Com o tempo, o som que reproduzem torna-se fraco e distorcido.

Por outro lado, os fones com cerâmicas piezoelétricas são mais robustos e não absorvem umidade, apresentando grande durabilidade.

Cápsulas de fones piezoelétricos são comuns, sendo usadas em telefones, e também como transdutores para sinais em buzzer e pequenos alarmes.

Na figura 114 temos algumas destas cápsulas usadas em fones.



Figura 114 – Cápsulas de fones

Na figura 115 temos o modo como estes fones são construídos.



Figura115 – Tipos de fones cerâmicos

Estes fones têm as características de um capacitor, apresentando uma impedância muito alta.

Quando usados em circuitos com impedâncias baixas, entre 1 k e 100 k, um resistor deve ser ligado em paralelo, para servir de carga para o circuito.

#### 4.14.2 - Fones Dinâmicos

São transdutores eletro-acústicos, funcionando alguns de modo semelhante a pequenos alto-falantes, também denominados "fones magnéticos" nos documentos técnicos mais antigos.

Estes fones foram os primeiros dispositivos usados em receptores de rádios e telefones, para converter sinais elétricos em som.

Existem dois tipos de fones dinâmicos, quanto ao modo de funcionamento.

No primeiro tipo, mostrado na figura 116, temos bobinas e um diafragma de metal ferrosos que fecha o circuito magnético de um ímã permanente, conforme mostra a figura 1.

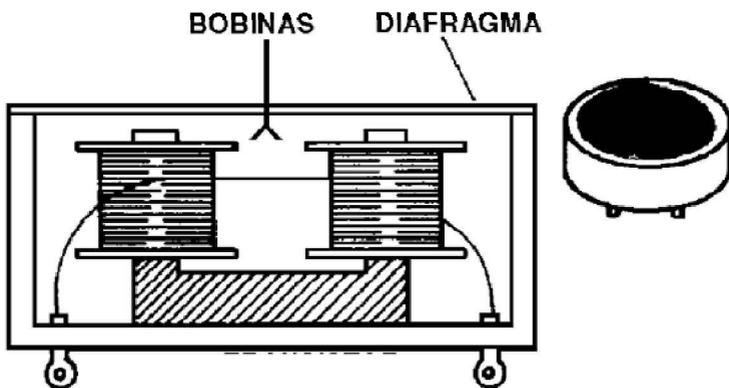


Figura 116 – Construção de um fone dinâmico

Quando um sinal percorre a bobina, ele cria um campo que interage com o campo do ímã fazendo com que o diafragma vibre a mesma frequência produzindo som.

O segundo tipo tem uma estrutura semelhante a de um pequeno alto-falante, com uma bobina móvel que atua sobre um pequeno cone, conforme mostra a figura 117.

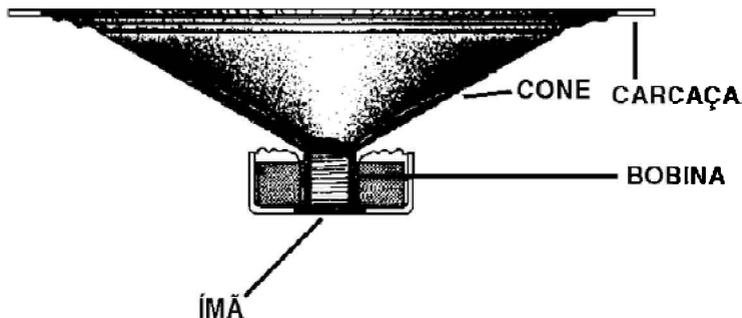


Figura 117 – Fone de bobina móvel

Os fones do primeiro tipo, normalmente são dispositivos de alta impedância, com impedâncias entre 600 ohms e 5 k ohms.

Os do segundo tipo, são de baixa impedância, com impedâncias entre 8 e 50 ohms tipicamente, como da figura 118.



Figura 118 – Fone de baixa impedância

#### **4.15 - Problemas de Funcionamento**

O principal problema que ocorre com pequenos fones de ouvido é a interrupção de seu circuito em algum ponto.

A prova de continuidade permite verificar se a causa de não funcionamento é a interrupção do circuito.

Uma vez, verificada ser esta a causa o técnico pode verificar em que ponto do circuito se encontra o problema.

Se for no plugue, normalmente basta a ressoldagem do fio ou a troca do plugue se ele se apresentar com problemas.

Se for no cabo, já demos algumas indicações de como proceder e como localizar o ponto de interrupção.

Se for no próprio fone temos as seguintes possibilidades:

Uma delas está no escape da unidade reprodutora que é mostrada na figura 119.

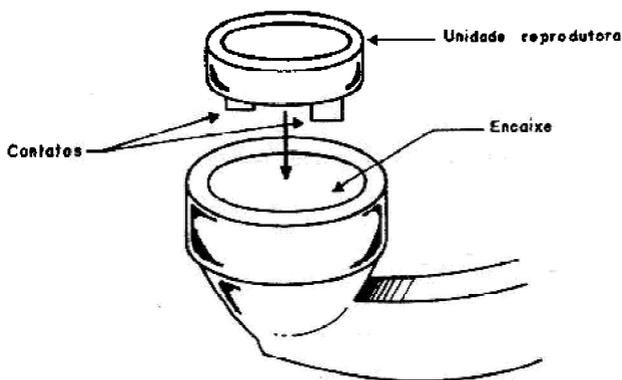


Figura 119 – verificando a cápsula de um fone.

Esta unidade é apenas encaixada na base e eventualmente movimentos bruscos do fone, quedas ou batidas podem fazer com que ela saia, chegando em alguns casos a ficar solta dentro da carcaça do fone. Se o problema for este basta encaixar com cuidado no local de funcionamento a unidade e o fone volta a funcionar normalmente.

### **b) Interrupções elétricas**

Observando com cuidado o ponto de conexão da bobina móvel da cápsula do fone o leitor pode verificar se existe interrupção.

Se isso acontecer, com muito cuidado, a conexão pode ser refeita, utilizando-se, para esta finalidade um soldador com ponta muito fina.

Se o fio esmaltado precisar ser raspado isso deve ser feito com uma lâmina de barbear com muito cuidado, pois se trata de fio extremamente fino. Se a interrupção for interna, ou seja, na própria bobina, a reparação é praticamente impossível.

No caso, a unidade pode ser trocada já que existem essas unidades separadas à venda.

### **c) Problemas de deformações ou sujeiras.**

As deformações na cápsula podem impedir a reprodução do som, causar distorções ou ainda perda de rendimento.

Neste caso, no entanto, se algum corpo estranho for a causa do problema, impedindo a livre movimentação do diafragma ou da bobina, com muito cuidado ele pode ser removido.

Deve-se ter especial atenção para que nesta operação as espiras da bobina não sejam atingidas, pois isso pode causar curtos ou interrupções que estragam definitivamente a cápsula.

**Questionário:**

1. Os alto-falantes são transdutores:

- a) Termoacústicos
- b) Eletroacústicos
- c) Piezoelétricos
- d) Energéticos

2. Para que os movimentos dos cones ocorram no mesmo sentido com um sinal, eles devem:

- a) Ter a mesma impedância
- b) Ter a mesma potência
- c) Ser ligados em fase
- d) Ser ligados em paralelo

3. Na frequência de ressonância, a impedância de um alto-falante:

- a) É constante
- b) É máxima
- c) É mínima
- d) É 8 ohms

4. Os fones de cristal apresentam:

- a) Baixa impedância
- b) Alta impedância
- c) Resposta de frequência Plana
- d) Alta qualidade de som

## Lição 5 - Os Amplificadores

Houve tempo em que ao se falar em eletrônica tudo se resumia em eletrolas (toca-discos) rádio e televisão.

Hoje em dia tudo mudou e temos uma grande variedade de equipamentos de som com que podemos contar.

Na verdade o som eletrônico expandiu-se tanto que até pode ser considerado um ramo separado da eletronica.

O coração de todo equipamento eletrônico de som é o amplificador de potência, ou simplesmente amplificador que estudaremos nesta lição.

### 5.1 - Para que servem os amplificadores

Sua função é receber o sinal de áudio de uma fonte de baixa intensidade como, por exemplo, um microfone, uma cabeça de leitura, um captador de instrumento musica ou outro dispositivo qualquer e aumentar a intensidade desse sinal para que ele possa excitar alto-falantes ou fones.

Os amplificadores são indispensáveis porque a maioria fontes de sinal são muito fracas para poder resultar em som alto-falantes ou fones. Veia a figura 120.

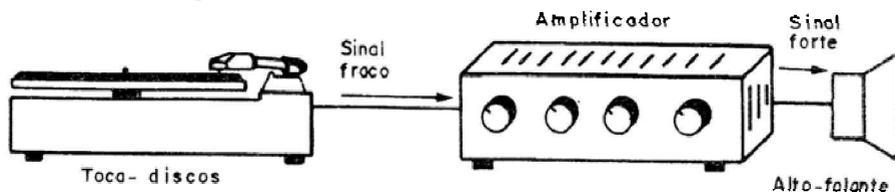


Figura 120 – Operando com fonte de sinal fraca

Os amplificadores podem ser monofônicos quando possuem apenas um canal de amplificação o que significa uma entrada de sinal e uma saída para os alto-falantes.

Podem também ser estereofônicos quando possuem dois canais de amplificação, o que significa entradas separadas para os canais e saídas separadas para dois sistemas de alto-falantes.

Nos sistemas mais sofisticados, como nos home theaters podemos ter diversos canais, por exemplo, dois frontais, dois traseiros e um central somente para os sons graves.

São as seguintes as principais especificações que devemos observar num amplificador:

Potência - esta é indicada em watts e pode ser RMS, IHF ou Musical. Os valores RMS são os reais e normalmente para um mesmo ampli-

gador resultam em números menores do que se especificados em IHF ou musical.

Se bem que, quanto maior seja a potencia de um amplificador maior seja seu custo, esta especificação não indica a qualidade do equipamento.

Curva de resposta ou distorção - esta e realmente uma indicação da qualidade de um equipamento.

A distorção deve ser a menor possível principalmente no máximo de potencia, sendo tolerados valores até em torno de 1%.

Esta característica diz com que fidelidade o amplificador aumenta a intensidade de um sinal aplicado a sua entrada.

Em lugar de uma taxa de distorção pode ser dada também uma curva de resposta como a da figura 121.

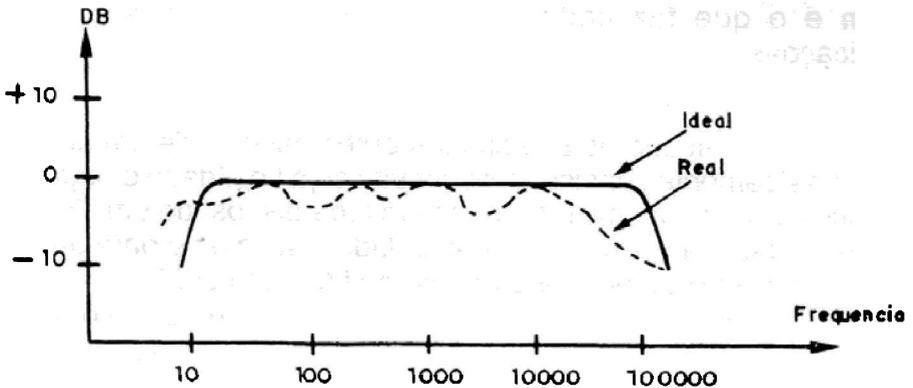


Figura 121 – Curva típica de resposta de um amplificador

Observe que esta curva deve ser plana, ou seja, para um bom amplificador, os sinais de qualquer freqüência devem ser amplificados da mesma forma.

Na figura 122 temos a curva de um amplificador não muito bom, pois além de termos deformações, ou seja, freqüências que não são bem amplificadas, os sons de freqüências mais baixas (graves) e os de freqüências mais altas (agudos) não são amplificados com o mesmo rendimento.

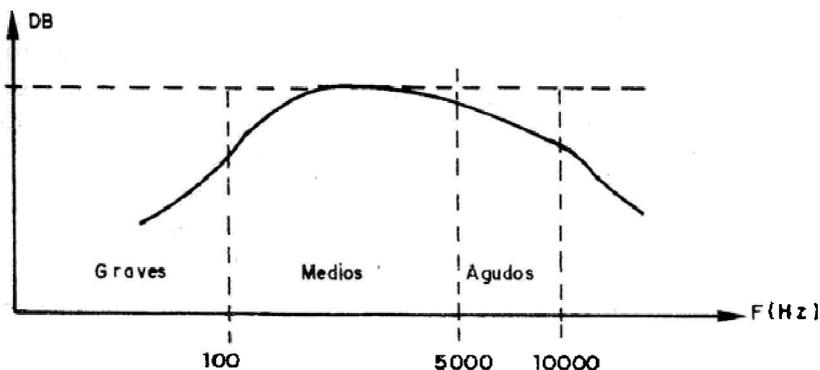


Figura122 – Curva de resposta de um amplificador de baixa qualidade

### Custos

O preço de um amplificador não depende apenas de sua potência, mas também de sua qualidade que inclui a curva de resposta, número de canais e entradas e saídas e muito mais.

Impedância de saída - esta característica nos diz como devemos ligar os alto-falantes e de que tipo devem ser para que tenhamos máximo rendimento com um funcionamento sem sobrecargas.

Esta característica dos amplificadores é expressa em ohms. Se temos um amplificador cuja saída seja de 4 ohms, isso significa que podemos ligar caixas que sozinhas ou em conjunto apresentem uma impedância mínima também de 4 ohms. Fazendo isso o amplificador opera com o máximo de rendimento, fornecendo sua máxima potência sem sobrecargas.

Na figura 123 mostramos o que ocorre.

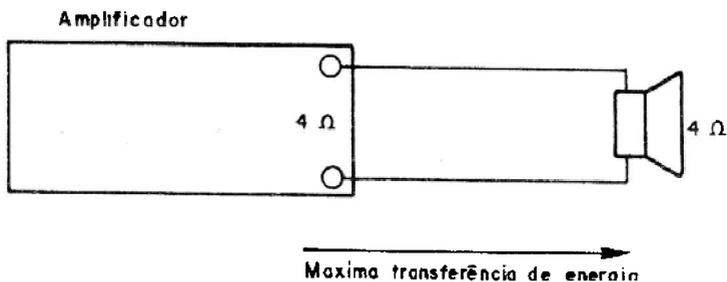


Figura 123 – O casamento de impedâncias

Se ligarmos caixas de impedâncias maiores ainda assim e amplificador funcionara sem problemas, mas haverá uma pequena redução na potência máxima que ele pode fornecer.

O que é proibido é ligar caixas com impedâncias menores, pois isso

acarretara uma sobrecarga do aparelho, com a queima de componentes importantes.

Sensibilidade e impedância de entrada - para que um amplificador funcione corretamente, com toda sua potência na saída e preciso que o sinal aplicado na entrada tenha uma intensidade mínima. Esta intensidade é dada pela sensibilidade do amplificador.

Para os tipos comuns, esta sensibilidade varia entre 50  $\mu\text{V}$  e 1 V pico a pico.

Isso significa que, se tivermos uma fonte e 10 mV, por exemplo um microfone que não forneça os 300 mV que um certo amplificador precisa para funcionar, ele não consegue excitá-lo e o som sairá baixo, ou seja, não conseguiremos a potência total.

Muitos amplificadores já incluem etapas de amplificação adicional que aumentam esta sensibilidade, mas se isso não ocorrer precisaremos nestes casos usar pré-amplificadores externos.

A impedância de entrada, por outro lado, nos diz que característica deve ter o equipamento de onde vem o sinal para que haja correto funcionamento.

Se as impedâncias forem iguais teremos o máximo rendimento, mas a fonte de sinal pode ter impedância menor que a da entrada do amplificador e funcionar bem, desde que a intensidade de sinal seja maior que a intensidade de sinal exigida pelo amplificador. Na figura 124 temos ilustrado o que ocorre.

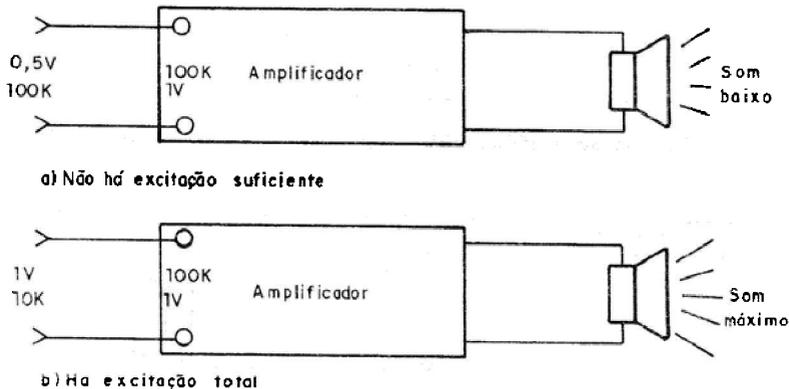


Figura 124 – Sinal insuficiente para excitação de um amplificador

Podemos modificar as impedâncias de entrada de um amplificador com circuitos adaptadores.

Os amplificadores podem operar com circuitos utilizando diversas tecnologias e diversos modos de operação.

Temos então amplificadores analógicos ou lineares e amplificadores digitais.

## **5.2 - Tipos de Amplificadores**

As diferentes categorias de amplificadores lineares ou analógicos se baseiam no ponto da curva característica em que os transistores, válvulas ou outros componentes ativos operam.

Analisaremos estas categorias tomando como exemplo os amplificadores transistorizados, mas o que for visto vale para os outros tipos.

O ponto da curva característica em que um transistor é polarizado determina o modo de operação e a classificação dos diversos tipos de amplificadores.

Na figura 125 temos as curvas com os sinais de entrada e saída. As classes acima são ainda subdivididas em sub-classes conforme se segue:

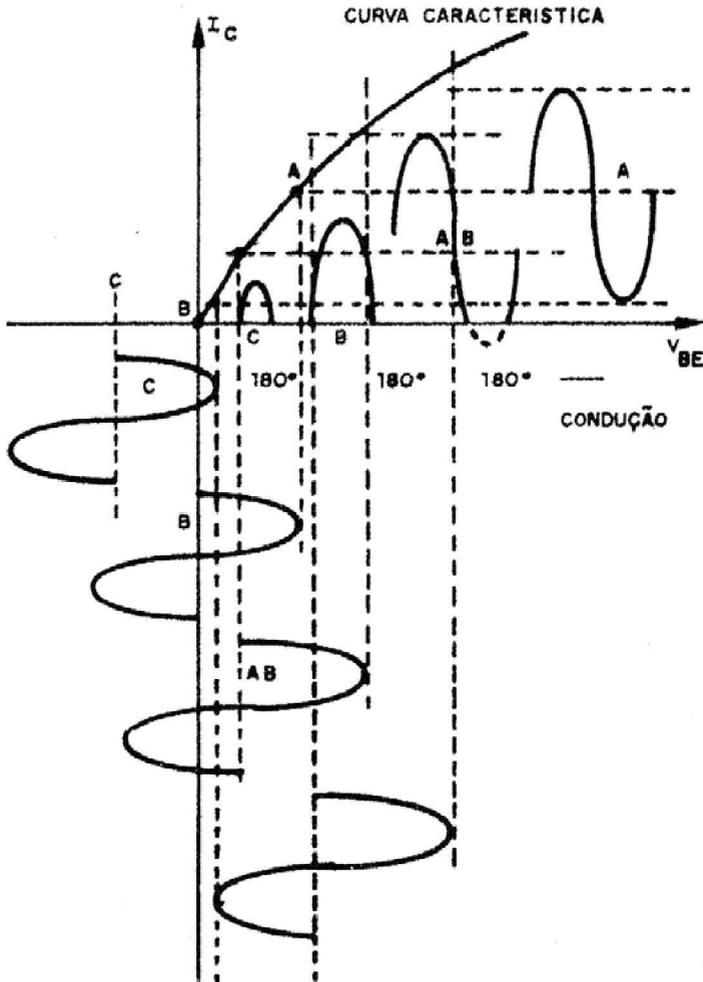


Figura 125 – Classes de amplificadores

**Classe A1**

Polarização: no centro da curva característica.

Variação do sinal de entrada: confinado ao setor linear da curva característica

Corrente circulante pelo coletor: no ciclo completo

Performance: saída sem distorção, baixo rendimento na conversão de potência, alto ganho.

Eficiência da ordem de 25% no máximo.

### **Classe A2**

Polarização: um pouco acima da região linear da curva característica.

Varição do sinal de entrada: se aproxima do ponto de saturação superior da curva.

Corrente circulante pelo coletor: no ciclo completo

Performance: quase sem distorção na saída, baixo ganho mas um rendimento melhor do que na classe A1 na conversão de energia.

### **Classe AB1**

Polarização: um pouco abaixo do centro da curva característica.

Varição do sinal de entrada: passa um pouco para baixo do ponto em que ocorre o corte.

Corrente circulante no coletor: pequena parte do semiciclo negativo é cortada.

Performance: na saída em push-pull, temos uma pequena distorção. O ganho é baixo, mas o rendimento na conversão de energia é melhor do que na classe A2.

### **Classe AB2**

Polarização: no centro da curva característica

Varição do sinal de entrada: se estende para o ponto de corte inferior e para o ponto superior de saturação.

Corrente circulante no coletor: parte do semiciclo negativo do sinal é cortado.

Performance: leve distorção harmônica na operação em push-pull. Baixo ganho, porém maior eficiência na conversão de energia, do que a obtida na classe AB1.

### **Classe B1**

Polarização: próxima da curva inferior da característica.

Varição do sinal de entrada: se estende para abaixo do ponto de corte inferior da curva característica.

Corrente circulante no coletor: corta grande parte do semiciclo negativo.

Performance: pequena distorção harmônica em push-pull.

Ganho menor que em classe AB2, porém com muito mais eficiência, com um rendimento da ordem de 78,5% no máximo.

### **Classe B2**

Polarização: perto do ponto inferior da curva característica

Varição do sinal de entrada: passa do ponto inferior de saturação e vai além do ponto superior de saturação.

Corrente circulante no coletor: corta grande parte do semiciclo negativo e uma pequena parte do semiciclo positivo.

Performance: alguma distorção harmônica na operação em push-pull. Menor ganho, mas alto-rendimento, maior que na classe B1.

### **Classe C**

Polarização: abaixo do limite inferior da curva característica.

Variação do sinal da entrada: vai para abaixo do limite inferior da curva e acima do limite superior de saturação.

Corrente circulante no coletor: corta todo o semiciclo negativo e parte do semiciclo positivo.

Performance: razoável distorção harmônica, baixo ganho e alto rendimento na conversão de energia, 80% no máximo.

**Obs.:** os mesmos tipos de classificação são também válidos para amplificadores com válvulas.

### **Entendendo as curvas**

Sugerimos consultar o volume desta série Curso de Eletrônica - Eletrônica Analógica para entender as curvas características e de operação dos transistores.

Os equipamentos de telecomunicações (telefones celulares, etc.), áudio (MP3, CD-Players, gravadores digitais, etc.) e outros que são alimentados por bateria devem reunir qualidades especiais como excelente qualidade de som, boa potência e baixo consumo.

Vamos detalhar estas configurações e também falar das configurações digitais.

As versões tradicionais analógicas que funcionam em classe A, B e C não atendem a estas exigências sendo, por este motivo, usados em todas essas aplicações, amplificadores de áudio Classe D.

Os amplificadores de áudio tradicionais são circuitos analógicos, amplificando tensões e aplicando-as em transdutores como fones e alto-falantes, sem alterações de suas características, conforme mostra a figura 126.

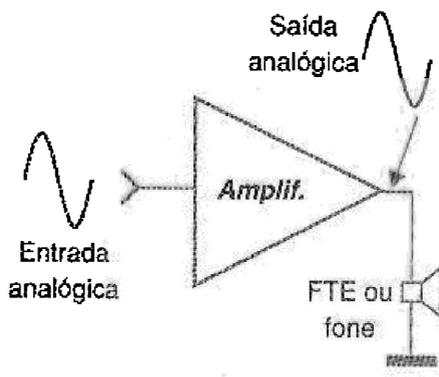


Figura 126 – Um amplificador analógico ou linear

É relativamente simples se obter um circuito amplificador linear usando componentes tradicionais como válvulas, transistores bipolares ou mesmo transistores de efeito de campo.

Até mesmo um único transistor polarizado apropriadamente pode se tornar um amplificador simples, excitando um pequeno alto-falante ou fone de ouvido, como mostra a figura 127.

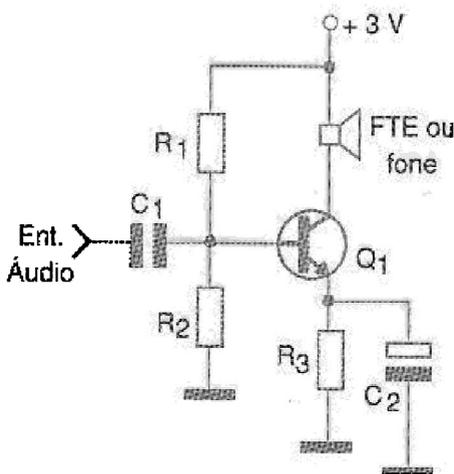


Figura 127 – Etapa simples de amplificador de áudio com um transistor

No entanto, este tipo de circuito não atende às necessidades modernas, principalmente dos equipamentos alimentados por baterias: seu rendimento é muito baixo.

A maior parte da energia que é entregue a este tipo de circuito é convertida em calor nos componentes de potência.

É só observar que os transistores de saída, mesmo para equipamentos com potências relativamente baixas, precisam ser montados em bons dissipadores de calor.

Tocando nesses dissipadores quando o equipamento funciona o leitor pode ter uma ideia de quanta energia é perdida na forma de calor.

Para atender às necessidades dos novos equipamentos são usadas configurações de baixo consumo e alto rendimento.

São os amplificadores Classe D que, para que o leitor entenda melhor como funciona, vamos explicar desde o início, comparando-os com os amplificadores tradicionais.

### **Transistores e Circuitos Integrados**

Se bem que existam circuitos integrados que já contenham os componentes correspondentes a um amplificador, a integração dos transistores em seu interior segue as mesmas configurações dos transistores discretos. Assim, o que estudamos também vale para estes amplificadores.

## **Classe A**

A configuração mais simples para um amplificador é justamente a que mostramos na figura 2 e que pode ser analisada de uma forma mais completa com o circuito da figura 128.

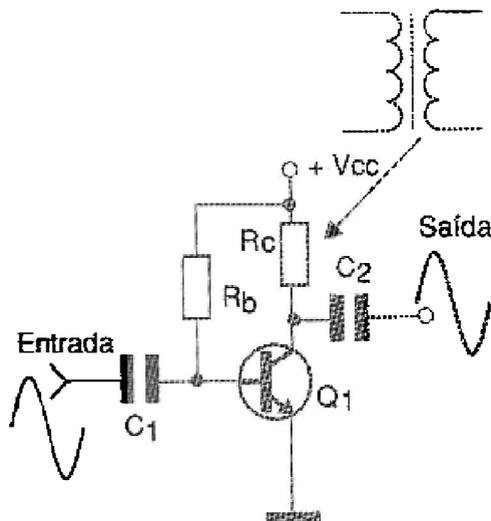


Figura 128 – Amplificador Classe A

Nesta configuração o transistor deve ser polarizado pelo resistor  $R_b$  de modo que ele opere no centro da reta de carga, mostrada na figura 129.

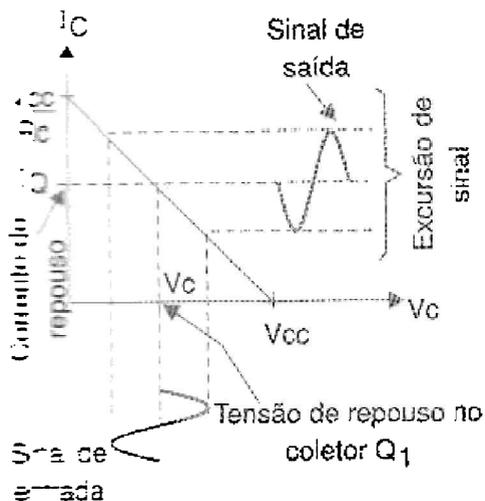


Figura 129 – Ponto de operação do amplificador classe A

Isso significa que o transistor, juntamente com o transformador que

alimenta o transformador, forma um divisor de tensão e no coletor do transistor existe uma tensão equivalente a aproximadamente metade da tensão da alimentação.

Assim, quando os sinais de áudio são aplicados na entrada deste circuito, eles fazem com que a tensão aplicada ao transformador oscile entre um máximo próximo da tensão de alimentação e um mínimo perto de 0 V conforme mostra a figura 130.

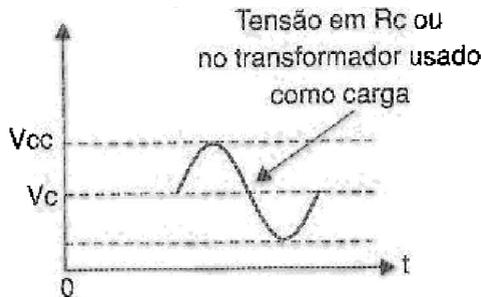


Figura 130 – Esta etapa consome mesmo na ausência de sinais

É evidente que, na ausência do sinal, o transistor precisa permanecer em condução para que a tensão no seu coletor se mantenha em metade da alimentação.

Com isso o transistor permanece dissipando potência na forma de calor mesmo quando não há sinal na sua entrada.

As perdas neste circuito são tais que mais da metade da potência é dissipada na forma de calor, fora o fato de que mesmo no repouso seu consumo é alto.

Algo inadmissível para uma aplicação alimentada por bateria.

### Potência

Com as exigências cada vez maiores de maior rendimento e menor consumo dos amplificadores, esta configuração praticamente está descartada para qualquer novo projeto.

## Classe B

Um tipo de circuito que oferece um ganho de rendimento em relação ao anterior e por isso ainda é encontrado em algumas aplicações portáteis econômicas como rádios AM e FM de baixo custo é a que corresponde a etapa de saída Classe B em Push-Pull, cujo diagrama básico é mostrado na figura 131.

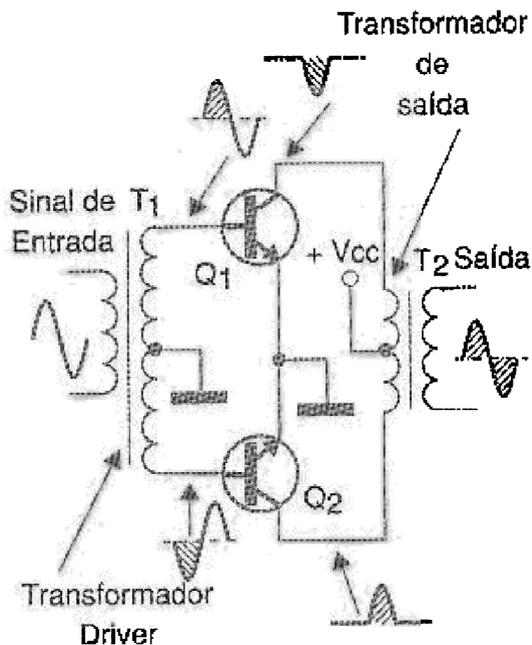


Figura 131 – Etapa de saída Classe B

Neste circuito, o que se faz é polarizar os dois transistores de tal forma que eles fiquem perto do início do ponto de condução ou mesmo no corte, usando para esta finalidade um transformador especial.

Este transformador tem um enrolamento com tomada central de tal forma que ao aplicar um sinal no seu primário, os semiciclos positivos polarizam o transistor A de modo que ele amplifique os sinais, enquanto que os semiciclos negativos polarizam o transistor B no mesmo sentido.

Assim, enquanto um transistor A amplifica apenas os semiciclos positivos do sinal, o transistor B amplifica apenas os semiciclos negativos.

Na ausência do sinal, nenhum dos dois transistores conduz e o consumo do circuito é extremamente baixo.

No coletor dos transistores temos um outro transformador que é usado como carga o qual reúne os sinais amplificados recuperando a sua forma original que aparece no seu secundário, conforme mostra a figura 132.

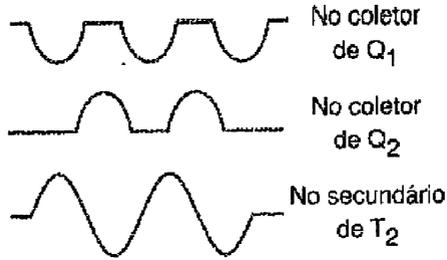


Figura 132 – Formas de onda na etapa Classe B

Apesar de seu bom rendimento este circuito tem alguns problemas.

O maior está no fato de se necessitar de um transformador driver e de um transformador de saída, que são componentes problemáticos, quanto ao custo e ao tamanho, principalmente se precisarmos de potências elevadas.

O segundo ponto está no fato de que os transistores “demoram” um pouco para começar a conduzir com o sinal aplicado, pois só fazem isso quando a tensão de base chega aos 0,7 V. Isso introduz certa distorção no sinal, conforme mostra a figura 133.

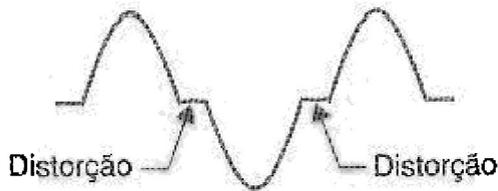


Figura 133 – A distorção por crossover

### Distorção

Esta distorção denominada também “crossover” ou cruzamento será estudada mais adiante neste curso.

Polarizando o circuito de modo que o transistor fique prestes a conduzir, conforme mostra a figura 134, podemos eliminar essa distorção e obter amplificadores de boa potência e excelente qualidade de som.

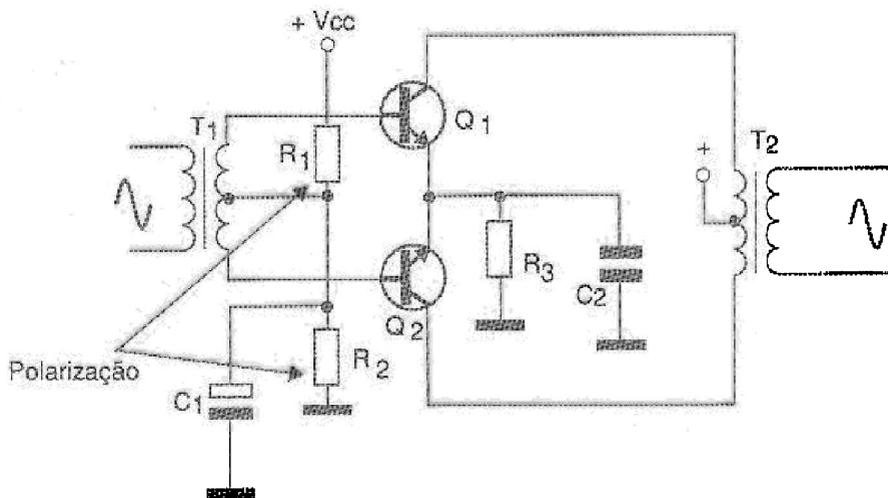


Figura 134 – Polarização da etapa classe B

Na verdade, usando transformadores feitos com chapas especiais (ultra-lineares) e válvulas em lugar dos transistores (ou mesmo MOS-FETS de potência) a distorção por cruzamento (crossover) como é chamada, pode ser reduzida a valores desprezíveis obtendo-se com isso os melhores amplificadores em qualidade de som.

Existem grupos de entusiastas de som que dizem que tais amplificadores são insubstituíveis em termos de qualidade de som, e compra equipamentos especiais que custam milhares de dólares.

Um amplificador "ultralinear" com saída em push-pull classe AB usando válvulas com anodos revestidos de ouro podem ter preços que chegam perto dos 10 000 dólares!

### Uso

Esta configuração não é praticamente adotada atualmente pelo custo e tamanho dos transformadores. No entanto, nos amplificadores valvulados de altíssima qualidade (ultra-lineares) ainda é encontrada, mesmo em tipos modernos, mas o custo e tamanho dos transformadores torna o preço destes equipamentos altíssimo.

## Classe C

Nos amplificadores Classe C os elementos ativos como, por exemplo, os transistores são polarizados de modo que eles conduzam apenas metade dos ciclos dos sinais de entrada, conforme mostra a figura 135.

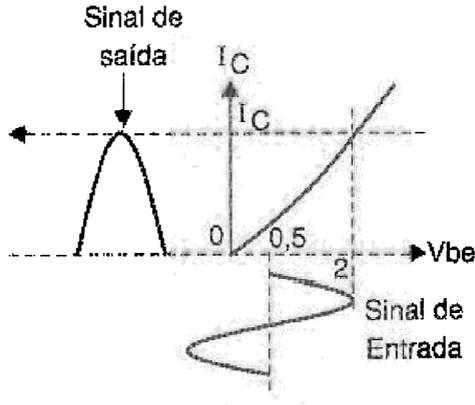


Figura 135 – Polarização Classe C

Esses amplificadores não usados em aplicações que envolvam, sinais de áudio pela distorção que introduzem.

No entanto, com o uso de filtros de saída apropriados, que eliminam as harmônicas geradas no processo de amplificação e devolvam a forma senoidal original de um sinal de alta frequência, eles podem ser usados em transmissores.

Na figura 136 mostramos uma etapa de saída típica de um transmissor em classe C.

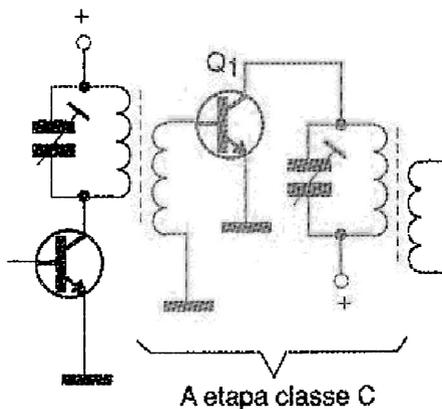


Figura 136 – Etapa de transmissor classe C

### Uso em áudio

Estas etapas não são utilizadas em equipamentos de áudio pela distorção que inserem nos sinais. Seu uso se limita a amplificadores de RF.

## Classe D

A ideia básica das etapas em classe B é trabalhar com impulsos.

Trata-se, de certa forma, de uma digitalização do sinal de áudio, se considerarmos que os impulsos são quantidades discretas.

Assim, para que o leitor tenha uma ideia de como isso funciona vamos partir de uma configuração simples em ponte usando transistores de efeito de campo de potência e que é mostrada na figura 137.

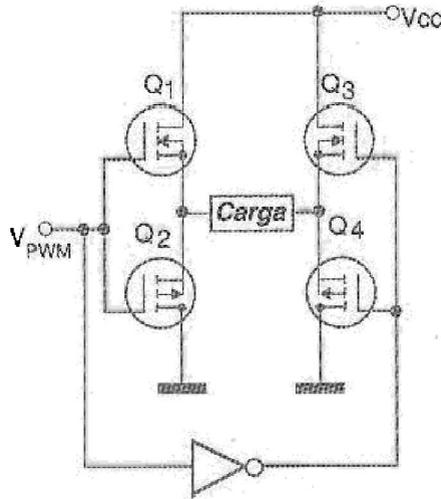


Figura 137 - Etapa classe D (PWM)

Tomando como exemplo um sinal de áudio de entrada que corresponda a uma senóide podemos transformá-lo em impulsos amostrando sua intensidade num certo número de instantes.

Assim, pelo critério de Nyquist, que é usado quando se trata da digitalização de sinais, vemos que, para podermos reproduzir este sinal com fidelidade precisamos ter um número de pelo menos 3 amostragens por ciclo de sinal.

Na prática, a amostragem é feita com uma freqüência muitas vezes maior do que a maior freqüência de áudio que deve ser reproduzida.

Nos circuitos comuns usados em equipamentos comerciais, para se recuperar o sinal original com boa fidelidade a amostragem deve ser feita numa freqüência pelo menos 10 vezes maior que a freqüência maior que se deseja reproduzir.

Assim como mostra a figura 138, com um grande número de amostragens, poderemos recuperar o sinal original com mais facilidade quando o passamos por um filtro apropriado.

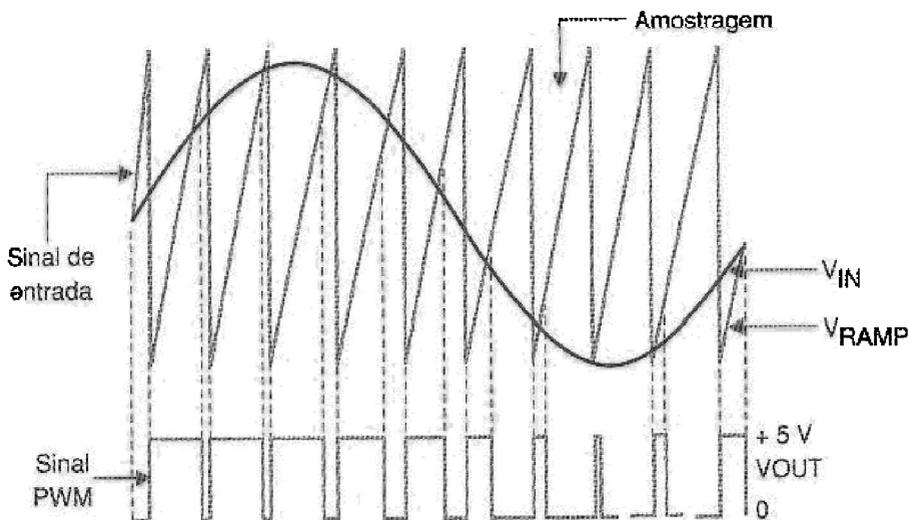


Figura 138 – As amostragens

Podemos dizer que o que se faz então é transformar a intensidade do sinal não em valores digitais, como num conversor ADC mas sim em pulsos de largura proporcional à esta intensidade.

O circuito é na realidade um PWM onde a integração das larguras dos pulsos vai corresponder ao sinal que deve ser reproduzido.

Pela sua intensidade esses pulsos vão saturar os transistores de saída de modo que, estando no estado ligado ou desligado eles, teoricamente não dissipam potência alguma, conforme mostra a figura 139.

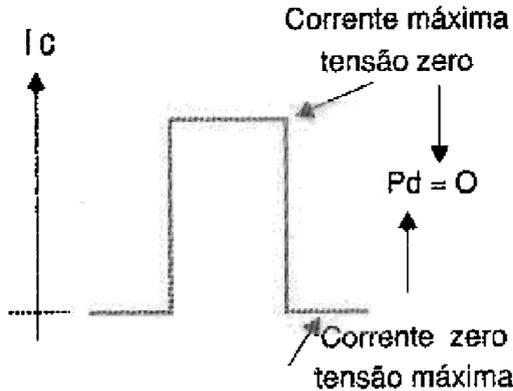


Figura 139 – Potência num sinal retangular

Quando conduzem a resistência entre dreno e fonte é zero e por isso a tensão nula, e quando estão abertos a corrente é nula.

É claro que, na prática, no curto intervalo de tempo em que o transistor comuta, uma certa potência é dissipada, mas ela é muito menor do que a que se perde um amplificador linear.

Para que a carga não receba diretamente pulsos, o que não levaria a reprodução do sinal original, deve-se ter um circuito de filtragem como o mostrado na figura 140.

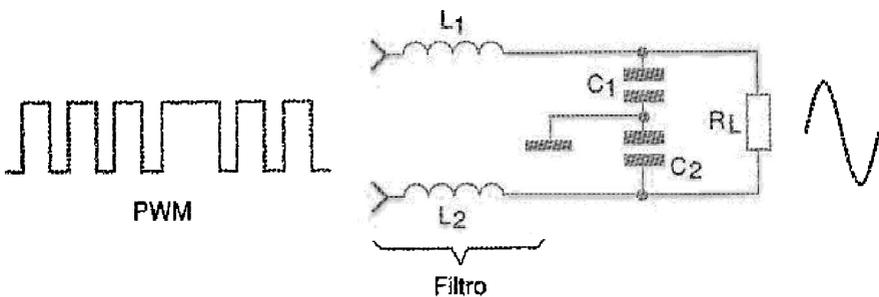
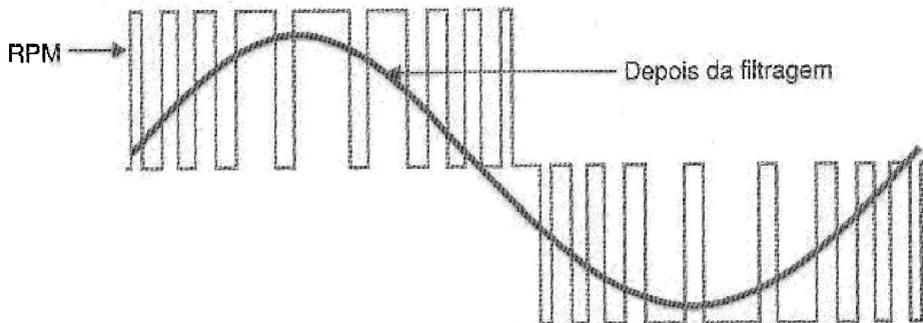


Figura 140 – Recuperando o sinal original

O sinal é então integrado, sendo levado à sua forma analógica original

para a reprodução, conforme mostra a figura 141.



*Figura 141 – O sinal PWM e o correspondente senoidal*

Na figura 142 temos um amplificador completo em classe D com seus blocos como encontramos em circuitos integrados usados em telecomunicações.

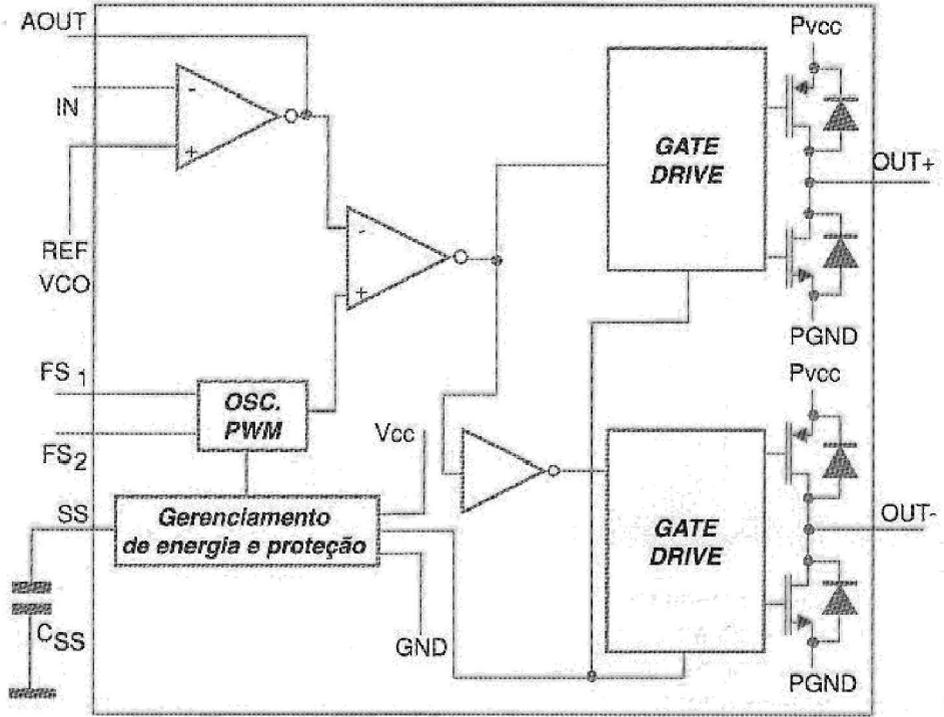


Figura 142 – Amplificador PWM integrado

O fato de trabalharmos com amostragem e depois com pulsos introduz uma certa distorção harmônica nos sinais.

No entanto, com a utilização de bons filtros, essa distorção pode ser levada a valores menores do que 1%. Valores desta ordem dificilmente seriam percebidos pelo ouvido humano.

Outro problema com que os projetistas tem de trabalhar ao projetar amplificadores em classe D refere-se ao resíduo da alta frequência de amostragem que pode resultar em ruídos.

### 5.2.1 - Classe D na Prática

Quando tratamos de um projeto que use um amplificador em classe D é preciso saber com que tipo de sinal de áudio estamos trabalhando.

Para a voz humana precisamos de uma faixa estreita, mas se temos um CD player ou um equipamento de som para ser ligado a um com-

putador, a faixa deve ser mais larga. Precisamos de mais fidelidade.

Assim, nas aplicações práticas, em função da faixa de frequências que devemos reproduzir temos as seguintes características:

<b>Equipamento</b>	<b>Faixa Passante</b>	<b>Faixa de frequências de amostragem</b>
Telecom (Celular, etc)	5 kHz	125 kHz a 1 MHz
Rádio AM/FM	15 kHz	250 kHz a 1 MHz
Áudio em PC	20 kHz	250 kHz a 1 MHz
Áudio de Alta Fidelidade	20 kHz	250 kHz a 500 kHz

Veja que o projeto do filtro está diretamente ligado à frequência de amostragem. Assim, para uma frequência de amostragem de 250 kHz um filtro com um corte de 30 kHz deve proporcionar bons resultados.

Um ponto importante que deve ser considerado num projeto PWM está no fato de que o circuito continua produzindo pulsos mesmo quando não existe sinal de entrada.

Observe que o alto falante recebe a corrente média dos sinais e ela é nula quando o sinal de entrada é zero.

O alto-falante trabalha com a variação das larguras dos pulsos e isso exige que ele seja robusto.

O fato dos pulsos de intensidade estarem sendo aplicados no alto falante mesmo sem sinal deve ser observado com cuidado pela EMI que este tipo de circuito pode gerar.

### **5.2.2 - Eficiência Teórica**

Teoricamente, trabalhando com pulsos retangulares, os transistores de saída só têm dois estados possíveis: condução e não condução.

Supondo transistores ideais, nos dois estados eles não dissipam potência alguma e o rendimento teórico de um amplificador Classe D é 100%.

No entanto, os transistores demoram um certo tempo para passar do estado de não condução para plena condução e vice-versa, durante o qual eles se comportam como resistores, dissipando potência, conforme mostra a figura 143.

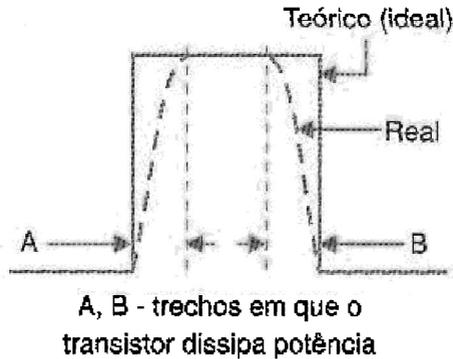


Figura 143 – Potência teoria e obtida

Quanto menos tempo eles passam nesta transição, menor é a potência dissipada e maior o rendimento, daí a necessidade de se usar transistores rápidos nestes circuitos.

A quantidade de transições também influi neste rendimento, de modo que uma taxa de amostragem maior também implica em maior dissipação.

Os circuitos comerciais conseguem conciliar velocidades rápidas de amostragens com bom rendimento, chegando a valores muito altos.

### **Novas tecnologias**

Todos os dias os fabricantes estão lançando novos circuitos integrados de amplificadores classe D com rendimentos sempre crescendo. Atualmente estes rendimentos ultrapassam os 90%.

### **5.2.3 - Classes G e H**

Outras configurações para amplificadores têm sido anunciadas por alguns fabricantes de equipamentos eletrônicos.

Uma delas é a configuração denominada Amplificador Classe G desenvolvida pela Hitachi.

Nesta configuração operam dois conjuntos de transistores amplificadores de saída.

Um conjunto é alimentado com uma tensão mais baixa e o outro conjunto com uma tensão mais alta.

Quando o amplificador trabalha com sinais fracos, eles são amplificados pela etapa de menor tensão de alimentação e quando os sinais devem chegar ao pico da potência, eles são amplificados pela etapa que trabalha com alta tensão. Na figura 144 temos uma etapa de saída de um amplificador Classe G.

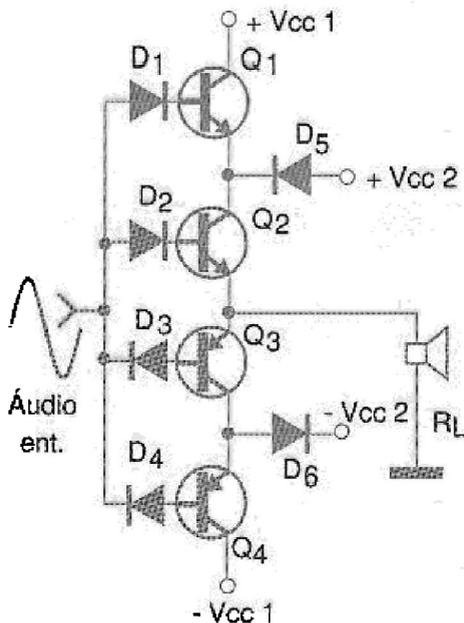


Figura 144 – Etapa classe G

A ideia do amplificador Classe H foi lançada por uma empresa chamada Soundcraft e é uma variação do amplificador Classe G.

Neste caso, também temos dois circuitos trabalhando com tensões diferentes.

No entanto, quando um ciclo de um sinal deve ser amplificado, a partir inicial quando a tensão sobe é amplificada pela etapa de menor potência.

Quando a intensidade do sinal chega ao ponto em que vai haver a saturação desta etapa, o circuito comuta automaticamente, e o restante do ciclo é amplificado pela etapa de maior potência.

Para um amplificador Classe H temos um exemplo de etapa de saída na figura 145.

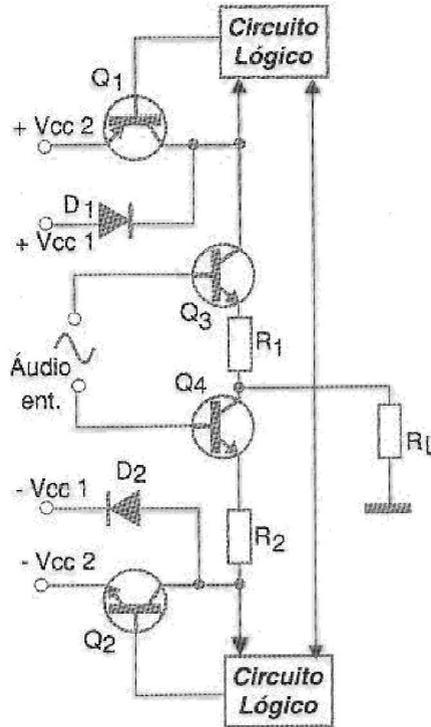


Figura 145 – Classe H

As aplicações modernas em que se alia o alto rendimento a uma boa fidelidade optam em sua maioria pelas etapas em Classe D ou PWM.

Circuitos integrados dedicados de diversos fabricantes são disponíveis atualmente para projetos. Para equipamentos de som em que a potência e o rendimento já não são o objetivo principal, mas sim a maior fidelidade possível, outras etapas podem ser encontradas.

#### Capacitor de saída

Nos amplificadores de potência elevada, o capacitor normalmente usado no acoplamento ao alto-falante é um componente volumoso e caro. Com o uso de fonte simétrica, este componente não precisa ser usado, daí esta configuração ser adotada.

### 5.3 - Amplificadores BTL

Uma configuração muito importante para os amplificadores de áudio-

dio analógicos, usada quando se deseja potências elevadas, ou quando se deseja o máximo de desempenho para circuitos amplificadores de áudio lineares, é a BTL ou Bridge Tied Load, mais conhecida como "em ponte".

Uma das deficiências dos amplificadores de áudio analógicos ou lineares comuns, com saída em simetria complementar ou quase complementar, é, o seu modo de funcionamento, em que dois transistores conduzem alternadamente a corrente conforme os semiciclos do sinal.

Assim, conforme mostra a figura 146, um dos transistores é polarizado num semiciclo de modo que a corrente que carrega o capacitor, circula através do alto-falante e com isso a energia entre os dois se divide com a reprodução do som.

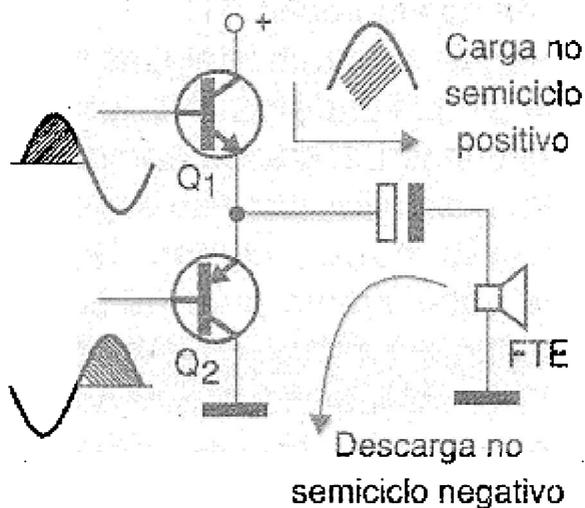


Figura 146 – O capacitor carrega-se e descarrega-se através do capacitor.

Em suma, num semiciclo, a corrente de carga do capacitor, a responsável pela reprodução do som no alto-falante correspondente a este semiciclo.

No semiciclo seguinte conduz o outro transistor de tal forma a curto-circuitar através do alto-falante o capacitor carregado, conforme mostra a figura 147.

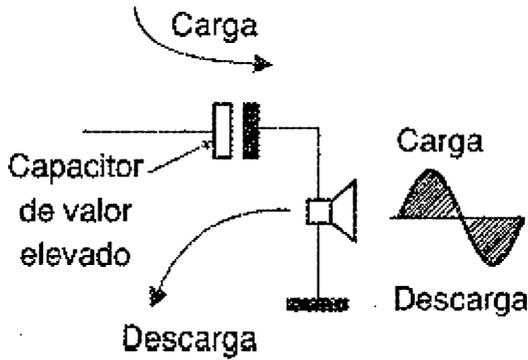


Figura 147 – No processo de carga e descarga o sinal original é reproduzido.

Nessas condições, não é a fonte do amplificador que fornece energia ao circuito, mas sim o próprio capacitor que foi carregado no semiciclo anterior do sinal.

O desempenho deste tipo de circuito é razoável, no entanto, a potência entregue ao alto-falante fica limitada pelo fato da fonte só fornecer energia ao circuito em um dos semiciclos do sinal.

Se ligarmos dois amplificadores que tenham este tipo de configuração de saída, de tal forma que quando um deles estiver recebendo um semiciclo, o outro amplificador esteja recebendo o outro semiciclo, teremos uma solução interessante para este problema, com um aumento considerável da eficiência dos circuitos.

O que fazemos então é ligar os amplificadores em ponte, ou na configuração BTL, do inglês "Bridge Tied Output" ou Saída Ligada em Ponte, se fizermos a tradução ao pé da letra.

Na figura 148 mostramos como isso é feito e, a partir desta figura, explicamos o que ocorre.

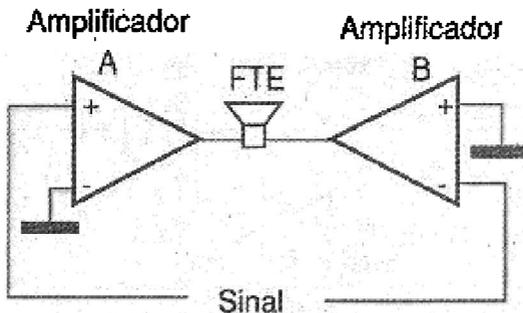


Figura 148 – Ligação BTL (Bridge Tied Load) ou em ponte.

Enquanto um amplificador recebe os sinais para serem amplificados pela entrada normal não inversora, o outro recebe o sinal pela entrada inversora ou com a fase invertida através de um circuito apropriado.

Assim, eliminamos a necessidade de usar o capacitor para se carregar e descarregar através do alto-falante em cada semiciclo de modo a se obter a reprodução.

Quando o semiciclo positivo do sinal é aplicado à entrada, conduzem os transistores Q1 e Q3 de modo que a corrente que flui é fornecida pela fonte de energia do aparelho.

Da mesma forma, quando o semiciclo negativo, aplicado à entrada, conduzem os transistores Q2 e Q3 e a corrente também é fornecida pela fonte do aparelho.

Isso significa que a fonte fornece energia nos dois semiciclos do sinal, diferentemente do que ocorre com a configuração normal em que a corrente é fornecida pela fonte apenas num dos semiciclos.

O resultado final disso é interessante: supondo que a impedância do alto-falante seja constante, e tivermos uma potência X na saída de um amplificador comum único, ligando dois destes amplificadores em ponte não teremos simplesmente o dobro da potência, mas sim duas vezes o dobro, ou quatro vezes mais!

Esse é o motivo pelo qual a configuração em ponte torna-se tão atraente quando desejamos altas potências, conforme mostra a figura 149.

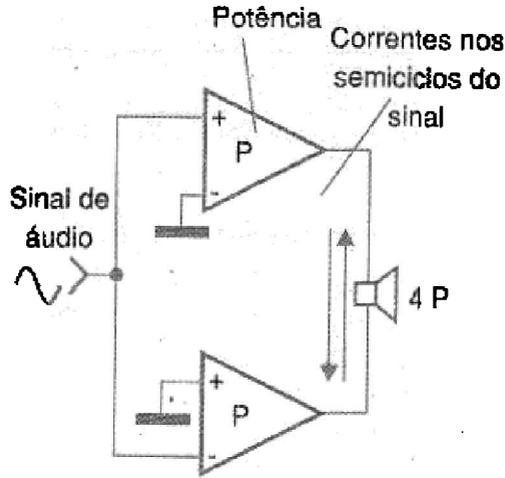


Figura 149 – A corrente circula pelo alto-falante nos dois semiciclos do sinal de áudio.

Usando dois amplificadores obtemos a mesma potência de quatro deles, o que é muito interessante, isso sem precisar acrescentar muitos componentes ou ter configurações complicadas.

Na verdade, o circuito fica até simplificado pela não necessidade de se usar o grande capacitor eletrolítico em série com o alto-falante, que é um componente caro.

#### **Eliminando o capacitor**

O capacitor de acoplamento aos alto-falantes é um componente cujo valor será tanto maior quanto maior for a potência do amplificador. Nos amplificadores de alta potência, além de volumoso, este componente representará um custo elevado no projeto. Com sua eliminação, economizamos muito.

## **5.4 - Informação – Ligação de Amplificadores em Paralelo**

Os distribuidores de sinais são circuitos que possuem uma entrada de sinal, como um amplificador comum e diversas saídas para distribuir os sinais para as entradas de diversos amplificadores.

Na falta de um distribuidor de sinais, não se deve ligar as entradas de amplificadores em paralelo diretamente, pois as pequenas dife-

renças entre as impedâncias e a próprias tensões que aparecem pelo aterramento incorreto, causam problemas.

Esses problemas vão desde a sobrecarga do circuito até o aparecimento de rancos ou a distribuição desigual dos sinais. Uma forma de se distribuir melhor o sinal é usando dois transformadores conforme mostra a figura.

Estes transformadores devem ter um primário conforme a entrada do amplificador e secundário conforme a fonte de sinal.

Para uma fonte de sinal de baixa impedância, por exemplo, e quando a qualidade do som não precisa ser excelente podemos usar transformadores de força de 110 V de primário e secundário de 6 V x 250 a 500 mA.

Os dois devem ser iguais. Atenção: a fonte de sinal deve ter no máximo 2 W, conforme mostra a figura 150.

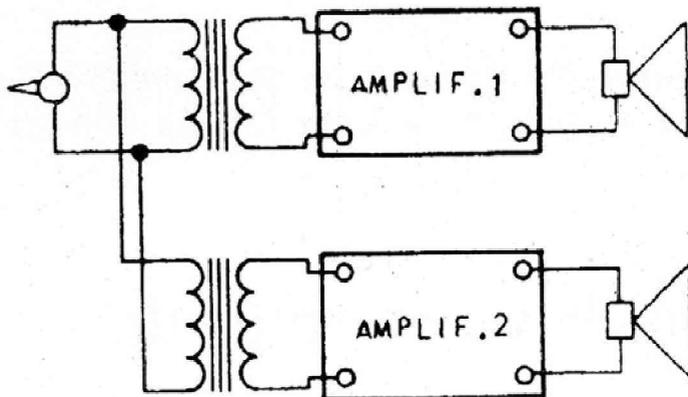


Figura 150 – Amplificadores em paralelo

### Distribuidores de áudio

No site do autor ([www.newtoncbraga.com.br](http://www.newtoncbraga.com.br)) o leitor poderá encontrar diversos projetos de distribuidores de áudio.

---

**Questionário**

1 - Os melhores amplificadores são os que:

- a) Têm maior potência
- b) Possuem maior número de canais
- c) Têm melhor resposta de frequência
- d) Têm entrada de alta impedância

2 - Para ligar um amplificador a um alto-falante e termos o melhor rendimento:

- a) A saída do amplificador deve ter impedância maior do que o alto-falante
- b) A saída do amplificador deve ter impedância menor do que a do alto-falante
- c) A saída do amplificador deve ter a mesma impedância do alto-falante
- d) A potência do amplificador deve ser maior do que a do alto-falante

3 - Em que caso o transistor na saída de um amplificador está em condução maior mesmo na ausência de sinal de entrada.

- a) Saída classe A
- b) Saída classe D
- c) Saída classe C
- d) Saída classe AB

4 - Numa etapa de saída push-pull classe B devemos usar pelo menos:

- a) Um transistor NPN e um PNP
- b) Dois transistores de qualquer tipo
- c) Um transistor apenas
- d) Quatro transistores

5 - Na etapa de saída complementar de um transistor podemos afirmar que em cada semiciclo do sinal:

- a) Apenas um transistor conduz
- b) Os dois transistores conduzem
- c) O transistor que conduz depende da intensidade do sinal
- d) Nenhum dos transistores conduz

6 - Um amplificador Classe D trabalha com que tipo de sinais na entrada:

- a) Apenas digitais
- b) Digitais ou analógicos
- c) Analógicos
- d) Pulsos

## Lição 6 - Os Pré-Amplificadores

Para que um amplificador forneça o máximo de sua de saída, o sinal aplicado deve ter uma intensidade mínima que depende de sua sensibilidade, conforme já estudamos ao analisar as características desses equipamentos.

Desta forma, dependendo da fonte de sinal que vamos utilizar com o amplificador, precisaremos aumentar a intensidade do sinal que fornecem, de modo que a excitação correta ocorra.

Para esta finalidade deveremos utilizar circuito denominados pré-amplificadores de áudio ou simplesmente, pré-amplificadores.

### 6.1 - Para que servem os pré-amplificadores

Assim, os pré-amplificadores são aparelhos cuja finalidade é aumentar a intensidade de um sinal muito fraco para excitar convenientemente um amplificador elevando seu nível e eventualmente fazendo um casamento de impedâncias.

Muitos equipamentos têm pré-amplificadores internos, onde os controles de tonalidade (graves e agudos) são ligados, e com isso na parte traseira temos acesso a diversas entradas, com diversos graus de sensibilidade conforme a fonte de sinal que vamos usar.

Na figura 151 temos os acessos aos pré-amplificadores de um amplificador comum.

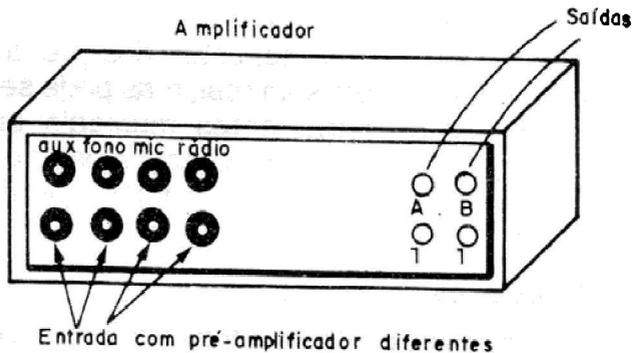


Figura 151 – As entradas de pré-amplificação

Nos equipamentos bem elaborados, os pré-amplificadores incluem ainda equalizações de acordo com os sinais que vão ser usados.

### 6.2 - A Equalização

Vamos dar um exemplo para que o leitor entenda o que significa esta equalização:

Quando é feita uma gravação num disco de vinil, por exemplo, determinadas frequências são reforçadas e outras são reduzidas por motivos técnicos.

Isso significa que o sinal gravado no disco não corresponde ao som real, mas têm uma pequena diferença.

A faixa de sinais é gravada com intensidade diferente daquela que deve ser reproduzido de modo a adequar a gravação às características da mídia.

Na figura temos o modo como os sinais são gravados, com um reforço das baixas frequências e uma atenuação das altas.

Nessa curva em que temos a amplitude x frequência usada na gravação e reprodução de discos de vinil (33 rotações ou RPM), sendo dada como padrão pela RIAA.

Esta curva combina as características de gravação dos discos com a sensibilidade do ouvido humano.

Observe que a curva de gravação (Record) é inversa a do pré-amplificador (preamp), de modo que a combinação resulta numa resposta linear para o ouvido (Playback). (figura 162)

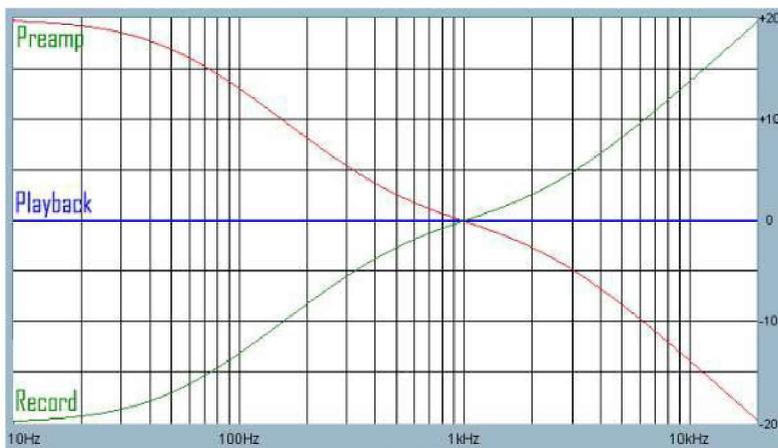


Figura 162 – Curva de gravação e reprodução

Veja então que hora de reproduzirmos o som de um disco precisamos compensar isso, reforçando as frequências que foram reduzidas e reduzindo as que foram reforçadas.

**RIAA**

Acrônimo para Recording Industry Association of America, ou Associação da Indústria da Gravação da América. Entidade que estabelece padrões para gravações e reproduções em discos.

Os pré-amplificadores que devem funcionar com toca-discos preveem isso com um tipo de equalização chamada RIAA, justamente o nome da equalização que deve ser feita. Veja a figura 163.

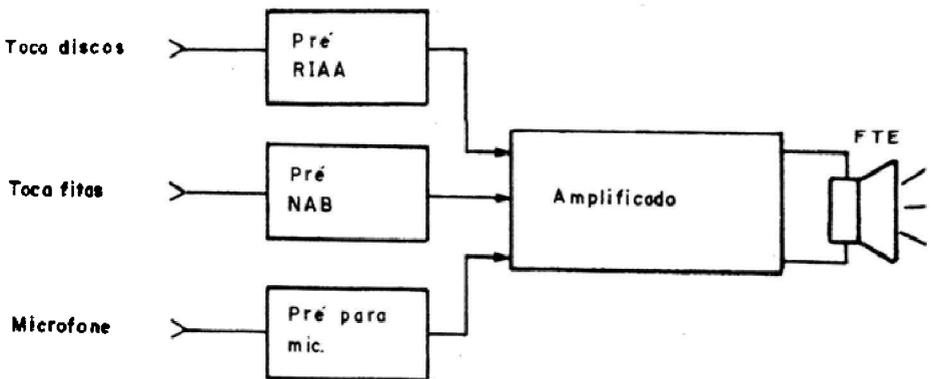


Figura 163 – A equalização RIAA

Veja então que se usarmos um pré-amplificador para toca-discos com outro aparelho estaremos alterando a curva de resposta e com isso prejudicando a fidelidade.

Estaremos proporcionando uma equalização desnecessária.

Para os gravadores de fita a equalização também existe, mas segue um padrão diferente denominado NAB e com isso e os pré-amplificadores que operam com estes equipamentos, possuem equalização NAB.

Para os colecionadores de gravações antigas que desejam recuperá-las passando para CDs, a tabela abaixo fornece os valores de equalização para uma velocidade de 7 1/2 polegadas por segundo.

FREQUÊNCIA (Hz)	RESPOSTA (dB)	FREQUÊNCIA (Hz)	RESPOSTA (dB)
20	-8,6	1k5	0,9
25	-7,0	2k	1,45
30	-5,8	2k5	2,1
40	-4,1	3k	2,75
50	-3,0	4k	4,1
60	-2,3	5k	5,4
70	-1,8	6k	6,6
80	-1,4	7k	7,7
90	-1,2	8k	8,6
100	1,0	9k	9,5
150	-0,45	10k	10,35
200	-0,2	11k	11,1
250	-0,1	12k	11,8
300	-0,1	13k	12,5
400	0	14k	13,1
500	0,1	15k	14,2
600	0,1	16k	14,2
700	2,0	17k	14,7
800	0,2	18k	15,2
900	0,3	19k	15,6
1k	0,4	20k	16,1

### 6.3 - Outras especificações

As especificações principais dos pré-amplificadores, além da equalização são a sensibilidade de entrada e impedância e o nível de sinal que podem fornecer na saída normalmente entre 300 mV e 1 V que é o que a maioria dos amplificadores precisa para funcionar.

Para instrumentos musicais e microfones, pré-amplificadores com boa amplificação são necessários devido a baixa sensibilidade destes dispositivos.

Alterando os valores dos capacitores da rede de equalização podemos modificar as curvas de respostas dos pré-amplificadores.

Esta alteração não nos leva a um som real, mas pode ser aproveitada como efeito sonoro para instrumentos musicais ou em outras aplicações especiais, como, por exemplo, uma mesa de som.

Se seu equipamento apresenta deformações de resposta verifique os componentes desta rede.

Além da equalização e a obtenção de um sinal de saída de intensidade suficiente para excitar um amplificador, os pré-amplificadores também servem para casar a impedância da fonte de sinal com a entrada do amplificador.

O que pode ocorrer em muitos casos é que a entrada de uma fonte de sinal, por exemplo, um microfone é de baixa impedância, além de fornecer um sinal muito fraco, enquanto que a entrada do amplificador é de alta impedância.

Nestas condições, o pré-amplificador também "casa" a impedância da fonte de sinal com a entrada do amplificador de modo a se obter o desempenho esperado.

### **Fonte de sinal**

Algumas fontes de sinais como microfones de baixa impedância, fonocaptadores magnéticos e cabeças magnéticas são de baixa impedância com sinais da ordem de microvolts, quando os amplificadores precisam de milivolts. Para utilizar estas fontes de sinais é preciso contar com um pré-amplificador.

Na figura 164 temos um exemplo simples de pré-amplificador para microfones de baixa impedância (8 a 200 ohms) utilizando apenas um transistor.

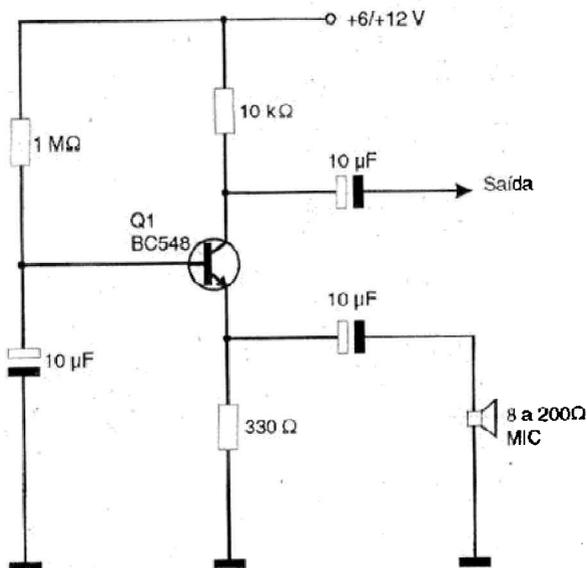


Figura 164 – Pré-amplificador com baixa impedância de entrada

Com este circuito, até mesmo um alto-falante comum, ou um microfone dinâmico de gravador ou de outra aplicação podem ser usado com amplificadores que exigem entradas da ordem de 200 a 500 mV.

Na figura 165 temos um circuito pré-amplificador com transistor de efeito de campo para microfones pouco sensíveis de impedância mais elevada, permitindo assim sua utilização com amplificadores comuns.

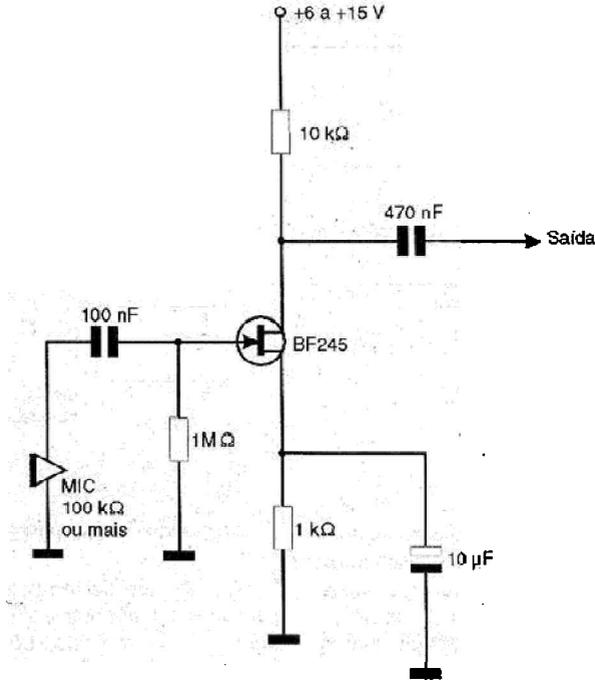


Figura 165 – Pré-amplificador com FET

Podemos usar transistores, circuitos integrados, etc., nestas configurações as quais variam conforme o ganho e demais características desejadas.

Os pré-amplificadores são circuitos sensíveis, pois trabalham com sinais muito fracos e por isso estão sujeitos a instabilidades e captação de roncos e ruídos e os componentes corretos não forem usados e numa eventual montagem, se o layout da placa não for feito com cuidado.

Um primeiro cuidado, e muito importante a ser tomado com o projeto ou escolha de um pré-amplificador é o referente ao transistor de entrada.

Os componentes geram ruídos pela agitação de seus átomos com a temperatura.

Este ruído, se for amplificado, aparece num fone ou alto-falante como uma espécie de chiado, sopro ou ruído de vento.

Você nota isso quando abre o volume de seu amplificador sem sinal algum na entrada e o alto-falante apresenta um chiado contínuo, como o barulho de um vento.

Este ruído deve-se a amplificação do ruído térmico gerado pelos

componentes do circuito, principalmente os que se encontram nas etapas de entrada.

Assim, um cuidado muito importante na montagem ou escolha de um projeto é utilizar na primeira etapa do pré-amplificador (e mesmo na segunda), transistores de baixo ruído.

Um exemplo de transistor usado neste caso é o BC549, que tem todas as características do seu "irmão" BC548, exceto, pelo fato de apresentar um nível de ruído menor, dado pelas técnicas usadas na sua fabricação.

Na figura 166 temos um exemplo de pré-amplificador de baixo ruído com este componente.

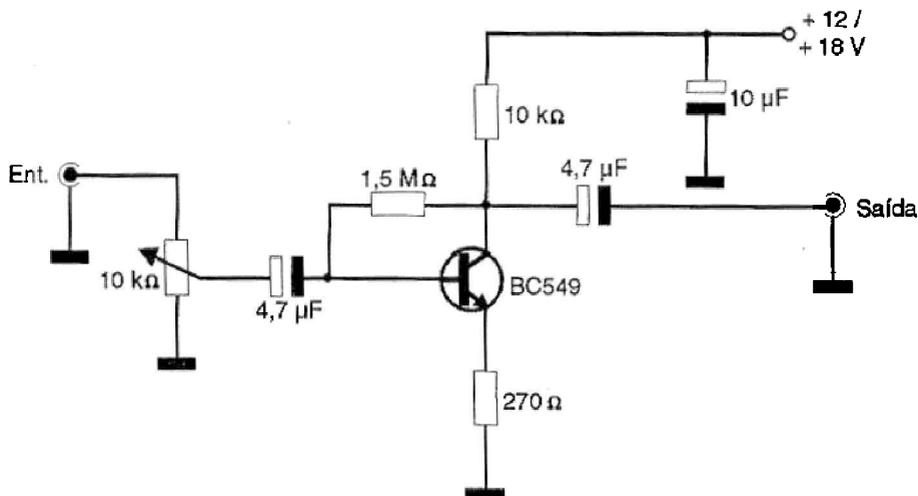


Figura 166 – Pré-amplificador de baixo ruído

Além de transistores de baixo ruído, os resistores também podem ajudar a minimizar o problema, já que os tipos comuns de carbono também são responsáveis por este problema.

É comum o uso de resistores de película metálica em lugar de carbono nas etapas de entradas de bons pré-amplificadores.

Os circuitos dos pré-amplificadores podem ter diversas etapas e também existem circuitos integrados especialmente projetados para esta finalidade se bem que em muitos casos, bons amplificadores operacionais (de baixo ruído) possam ser utilizados.

Assim, temos na figura 167 um pré-amplificador com duas etapas, observando-se a equalização.

Veja que esta equalização é feita por uma rede de realimentação formada pelos resistores R303, R306 e R310 e pelos capacitores C303 e C304.

Este circuito é ideal para recuperação de mídias em vinil, com a obtenção de resposta linear a partir da curva RIAA das gravações. Os transistores podem ser os BC549 e a fonte deve ter excelente filtragem. O consumo é muito baixo.

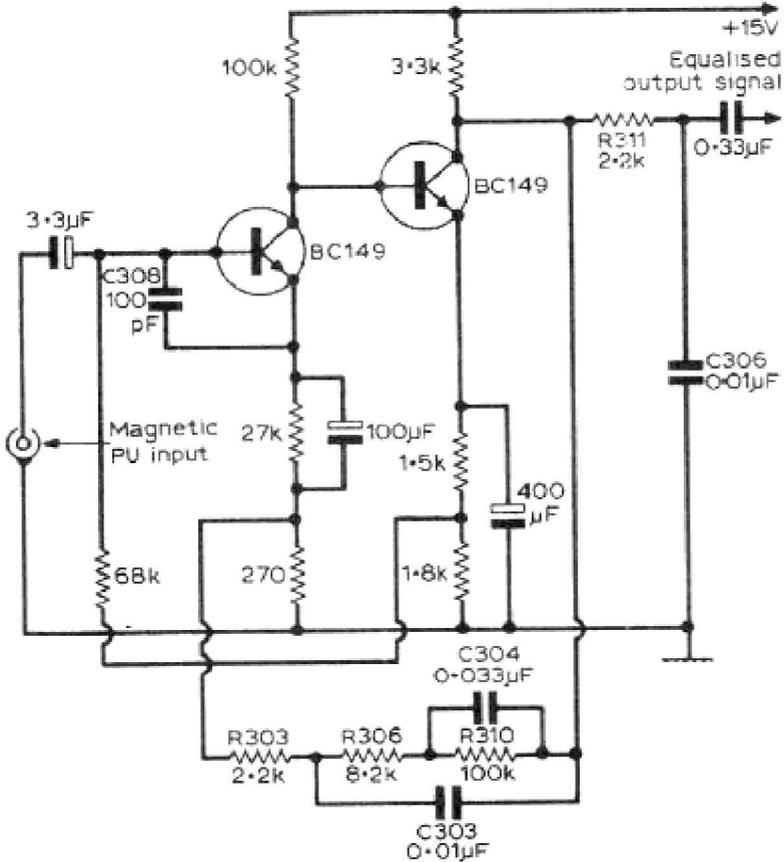


Figura 167 – Pré-amplificador com duas etapas e equalização RIAA

### Técnicas especiais

Uma técnica especial para se obter muito baixo ruído é a de se ligar diversos transistores em paralelo na entrada de modo que eles trabalhem com correntes extremamente baixas, conforme mostra a figura 168, de circuito obtido na Internet.

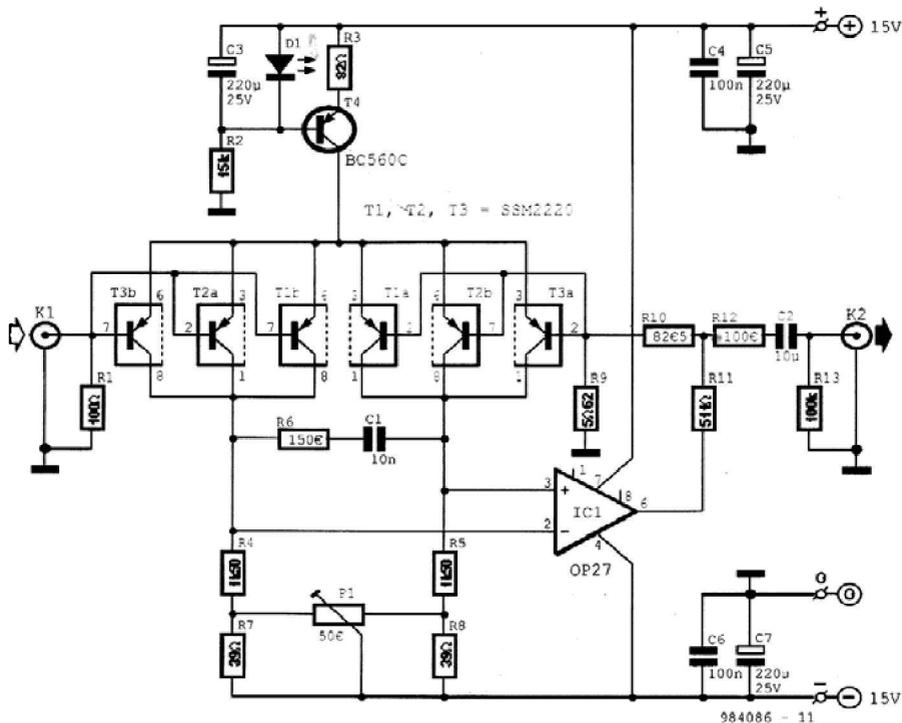


Figura 168 – Pré-amplificador de ultra-baixa corrente nos transistores de entrada

Para o caso de circuitos integrados existem muitas opções. Na figura 169 temos um exemplo simples, com um operacional comum.

Este circuito tem uma curva de resposta linear servindo, portanto, para fontes de sinais comuns como microfones, etc.

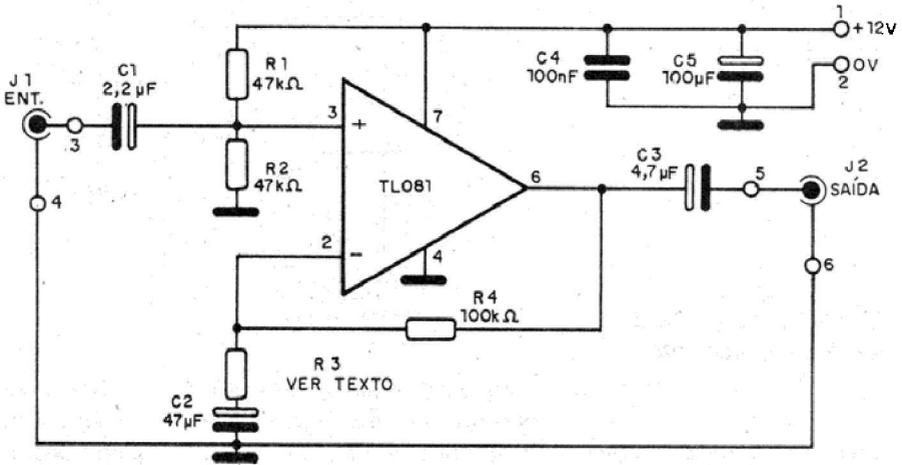


Figura 169 – Pré-amplificador integrado

O circuito integrado usado é um amplificador operacional comum com FET na entrada.

Uma versão moderna de pré-amplificador é dada a seguir.

Ela consiste numa solução dada pela Maxim para a recuperação de mídias, que passam a ser gravadas num computador.

Trata-se de um amplificador com equalização RIAA para ser usado na recuperação de discos de vinil passando seus conteúdos para mídias no computador (MP3, CD, DVDs, etc.).

O circuito exige uma alimentação de 3,3 V apenas e sua curva de resposta equaliza apropriadamente o conteúdo de discos de vinil. Veja figura 170.

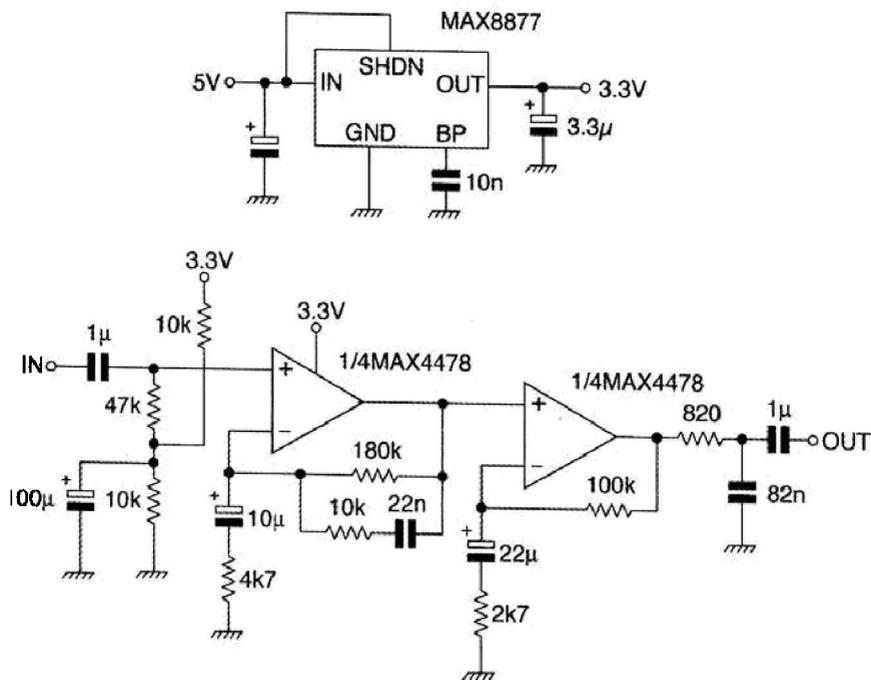


Figura 170 – Pré-amplificador RIAA com alimentação pela USB

Um outro exemplo de pré-amplificador, mostra a utilização da tecnologia antiga das válvulas, dado na figura 171.

Um duplo triodo é utilizado para se obter uma alta amplificação do sinal e uma saída de impedância elevada, como usual neste tipos de circuitos mais antigos.

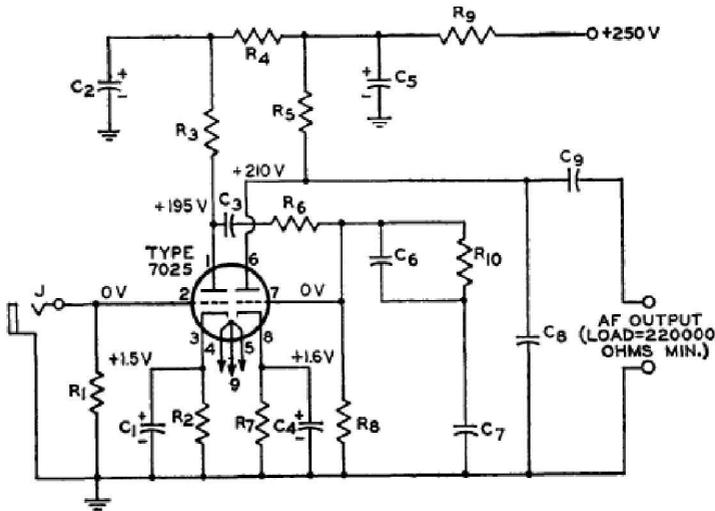


Figura 171 – Pré-amplificador valvulado

### Som de válvula

Muitos ainda acham que os circuitos valvulados proporcionam melhor qualidade de som que os transistorizados modernos. Existem, portanto, empresas que ainda fabricam equipamentos valvulados de som de altíssima qualidade. Veja nas lições finais.

## 6.4 - As configurações dos transistores

Basicamente, nos circuitos pré-amplificadores de áudio encontramos duas configurações de transistores, base comum e emissor comum, já que as configurações de coletor comum não são quase empregadas.

As configurações de base comum são utilizadas quando temos uma fonte de sinal de baixa impedância e precisamos de uma saída de alta impedância para excitar um amplificador.

Isso ocorre porque esta etapas se caracterizam por terem um ganho de tensão baixo, mas uma elevada impedância de saída e um bom ganho de corrente.

Na figura 172 temos um circuito deste tipo que pode ser usado com microfones de baixa impedância ou outras fontes de sinal.

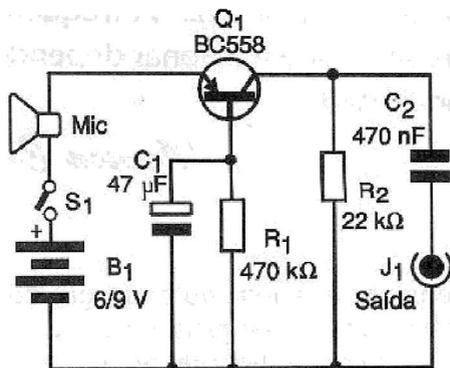
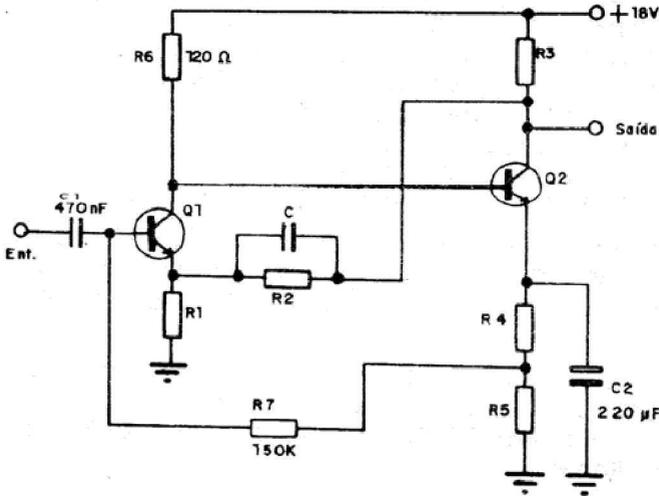


Figura 172 – Configuração de base-comum

Para os pré-amplificadores na configuração de coletor comum, obtemos um bom ganho de tensão e menor ganho de corrente.

Os exemplos que demos ao longo desta lição são deste tipo.

Para entender melhor como funciona este tipo de circuito, tomamos uma etapa típica de pré-amplificação a qual vamos analisar para que o leitor saiba as funções dos componentes e em quais pode fazer alterações. Veja a figura 173.



GANHO	10	20	30	40	dB
R1	4k7	1,5k	1,5k	1k	$\Omega$
R2	12	15	56	180	k $\Omega$
R4	470	560	330	680	$\Omega$
R3	1,8	2,2	2,2	2,2	k $\Omega$
R5	1,2k	470	270	220	$\Omega$

Figura 173 – Um circuito pré-amplificador

Observe que nesta etapa os valores dos resistores determinam o ganho do circuito numa grande faixa de valores que pode ser alterada, mas lembre-se que a alteração dos componentes é feita em conjunto, ou seja, alteramos todos os resistores indicados.

**Componentes:**

C1 - Este componente dá passagem aos sinais de áudio isolando o circuito externo da corrente de polarização. Seu valor é calculado em função da impedância e das menores frequências que devem chegar ao circuito. Se aberto, este capacitor provoca queda de rendimento e perda de agudos.

R1 - Este componente é um dos responsáveis pelo ganho do pré-amplificador e também influi na impedância de entrada. A tabela mostra de que modo este componente determina o ganho. Menores valores significam maiores ganhos, e também menor impedância de entrada. Alterações segundo a tabela podem ser feitas.

R2 - Este componente determina a realimentação negativa do cir-

cuito e, portanto, influi fortemente na curva de resposta e também no ganho. Maiores valores significam menor realimentação negativa e, portanto, maior ganho.

C - Este capacitor faz com que ocorra uma realimentação negativa mais forte com sinais de frequências mais elevadas o que é necessário no caso de ganhos mais altos. Assim, para ganhos até 30 dB este capacitor não é necessário, mas para ganhos de 40 dB usamos um capacitor de 10 pF.

R3 - Este capacitor influi na impedância de saída e também na realimentação negativa dependendo seu valor do ganho, mas sua faixa de valores já é bastante estreita entre 1,8 e 2,2k. Não devem ser feitas alterações fora desta faixa sem o perigo de comprometer a resposta do circuito.

R4 - Este resistor forma com R5 um divisor que determina a polarização de base do transistor de entrada. Como tal, ele influi tanto na polarização, como na impedância de entrada e no ganho. Os valores são baixos numa faixa estreita.

R5 - Juntamente com R4 determina a polarização do transistor de entrada e seus valores dependem da impedância e ganho desejados dentro da faixa dada pela tabela. A faixa de valores é mais ampla do que a de R4.

C2 - Este capacitor desacopla o emissor do transistor oferecendo assim uma realimentação via R4; R5 e R7 apenas de corrente contínua para polarização de entrada. Seu valor não é crítico, mas deve ser o maior possível para que nenhum componente de áudio apareça na base de Q1 via R7.

R7 - Este resistor faz a polarização de base do transistor de entrada e não influi no ganho, fixando apenas o ponto de funcionamento da curva característica de Q1.

Q2 - Este é o segundo transistor amplificador, fornecendo o sinal para a saída com ganho determinado pelo acoplamento direto de Q1 e também por R6.

R6 - Este resistor tem valor fixo que depende do ponto de condução de Q1 dado pela sua polarização. Não é necessário usar um transistor de baixo ruído nesta função.

É importante que o leitor lembre que neste tipo de circuito existe uma sensibilidade muito grande, tanto a rancos captados de circuitos externos como também gerado pelos próprios componentes.

Muito cuidado deve ser tomado com a fiação que deve ser totalmente blindada e em caso de troca de componentes devemos tomar cuidado com sua qualidade.

## 6.5 - Configuração Estéreo e Alimentação

Os exemplos de circuito que demos são para o caso de termos um único canal de amplificação, ou seja, aplicações monofônicas.

Quando estamos trabalhando com um amplificador estéreo e também a fonte de sinal é estereofônica, o pré-amplificador deve ter dois canais.

Os dois canais devem ter as mesmas características e normalmente são alimentados por uma fonte de alimentação única.

A tensão de alimentação de um pré-amplificador pode variar conforme o circuito, mas em geral a corrente exigida é sempre muito baixa, da ordem de poucos miliampères.

Isso permite que a alimentação desses circuitos seja retirada do próprio amplificador com o qual eles vão operar quando fazem parte do circuito principal.

Um resistor e um capacitor são suficientes para fazer a redução da tensão, conforme mostra a figura 174.

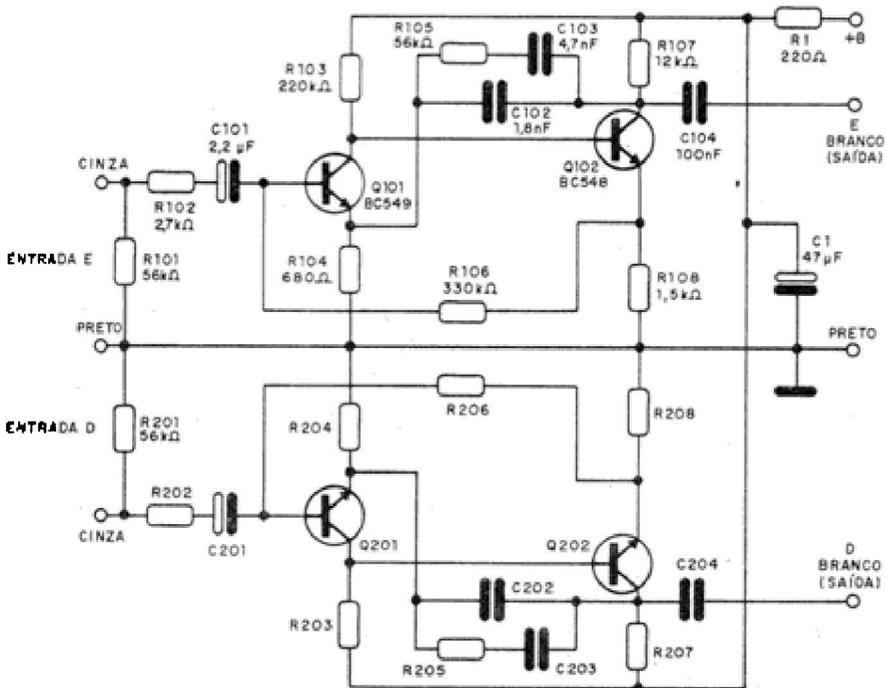


Figura 174 – Pré-amplificador estéreo comercial

Fonte de Programa	Vin (mV)	Zin ( $\Omega$ )	R101 - R201 (k $\Omega$ )	R105 - R205 (k $\Omega$ )	R SÉRIE * ( $\Omega$ )	C102 - C202 (F)	C103 - C203 (F)
Cabeça gravadora 7 1/2 pol/s	7,0	47 k	56	12	-	NA	6,8 n
Cabeça gravadora 3 3/4 pol/s	5,3	47 k	56	27	-	NA	6,8 n
Microfone magnético	3,0	22 k	27	68	-	NA	** 4,7 $\mu$
Microfone cristal	90,0	500 k	56	56	470 k	NA	** 4,7 $\mu$
Aux. (Rádio - FM, AM)	120,0	500 k	56	39	470 k	NA	** 4,7 $\mu$
Gravador alto nível	350,0	1,5 M	56	39	1,5 M	NA	** 4,7 $\mu$
Gravador baixo nível	94,0	370 k	56	27	320 k	NA	** 4,7 $\mu$

\* Não indicado no circuito. Deve ser colocado entre a fonte de programa e a entrada.

\*\* Capacitor eletrolítico, isolação mínima de 20 V, cujo poló (positivo) deve estar ligado ao coletor C102 (C202).

Neste circuito R1 e C1 fazem a redução da tensão para alimentar o circuito de modo que ele funcionará com tensões de 9 a 19 V consumindo um corrente de 0,8 a 1,3 mA apenas.

Veja as características deste circuito na tabela.

## M204

Este circuito foi vendido na forma de kit durante muitos anos, consistindo numa excelente solução para os que montavam seus próprios amplificadores.

No caso de se montar o pré-amplificador como uma unidade externa, o máximo de cuidado deve ser tomado com a filtragem e desacoplamentos, para que não ocorram roncões.

O problema mais comum que ocorre neste caso é a entrada de

ronco pelo aterramento dos cabos de transferência de sinais, pois o terra do amplificador pode não estar no mesmo potencial do terra do amplificador.

Quando dois ou mais aparelhos são interligados, para que seus gabinetes ou chassis atuem como blindagens de maneira eficiente evitando o aparecimento de roncões, eles devem estar sob mesmo potencial.

Como observamos na figura 175, pode ocorrer que, por diferenças de características ou pelos próprios circuitos externos, dois aparelhos conectados à mesma rede de energia quando em funcionamento apresentem uma diferença de potencial de alguns microvolts ou milivolts.

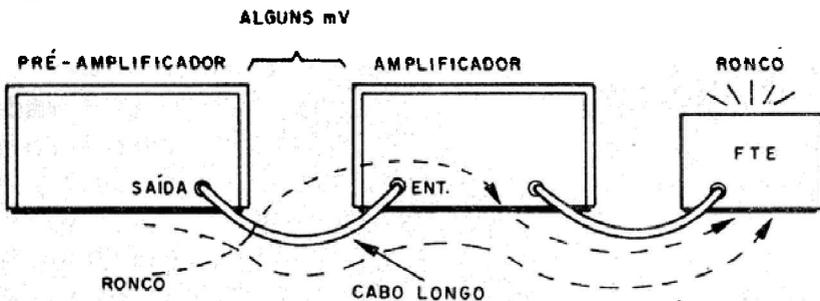


Figura 175 – Falta de aterramento comum dos equipamentos

Essa diferença consiste num sinal que aparece nos circuitos de entrada do amplificador quando os aparelhos são interligados.

É fácil o leitor verificar se o problema tem esta origem:

Ligando os dois aparelhos sem sinal e abrindo o volume do amplificador o ronco aparece.

Encostando o gabinete de um aparelho no outro ou ainda interligando-os por um momento por meio de um pedaço de fio, o ronco desaparece, conforme a figura 176.

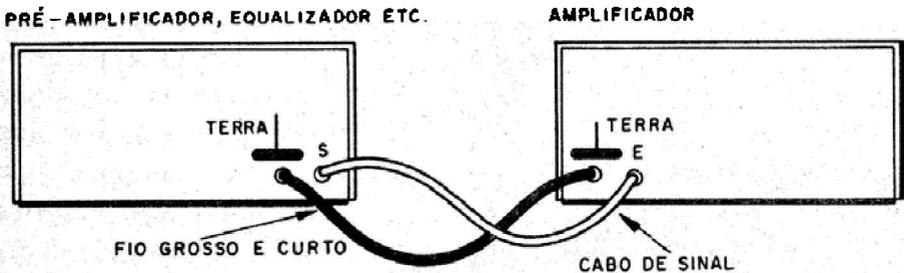


Figura 176 – Aterramento comum

Se o ronco não desaparecer, sua origem pode ser outra.

Para eliminar o ronco que tenha esta origem, basta usar os terminais de terra comum que todos os equipamentos de som possuem em sua parte traseira. Interligue os terminais de terra de todos os aparelhos que formam o sistema, se usarem caixas separadas, da maneira indicada na figura 177.

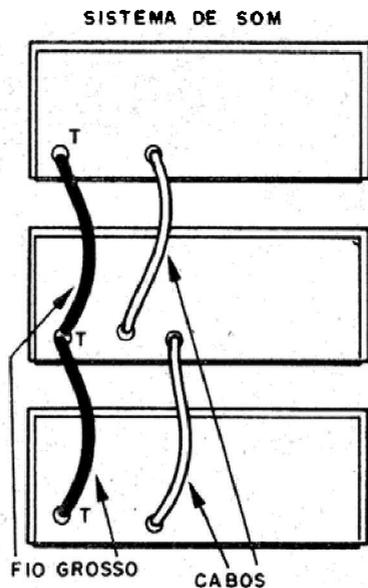


Figura 177 – Interligando as caixas

O fio usado nesta interligação deve ser grosso e o mais curto possível.

Outro problema se deve a terras fora de fase

Dois aparelhos conectados à mesma rede de energia, um funcionando como fonte de sinal (tape-deck, pré-amplificador, equalizador, etc.) e outro como amplificador final de potência, podem apresentar pequenas diferenças de potencial entre seus chassis ou caixas, da mesma forma que no caso anterior, mas por estarem com as fases diferentes de alimentação.

Ocorre que seus transformadores de força podem estar com as fases diferentes em relação à tensão de entrada o que afeta levemente a tensão do secundário em relação a fase (figura 178).

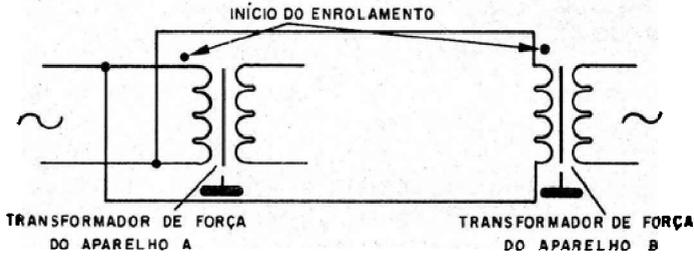


Figura 178 – Problemas de fase em transformadores

Assim, entre os chassis ou gabinetes surge uma pequena tensão alternada na frequência de 60 Hz, resultante da defasagem da alimentação dos transformadores.

Uma maneira simples de verificar se o problema é este é a seguinte: Ligue os aparelhos de modo que o ronco seja produzido.

Inverta a tomada de força de um dos aparelhos, girando-a de 180 graus, conforme mostra a figura 179.

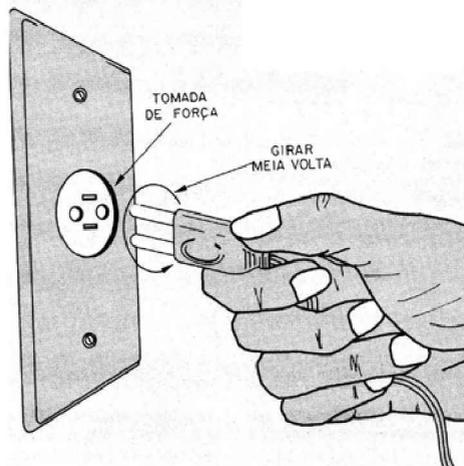


Figura 179 – girando a tomada

Se o ronco desaparecer por completo, estará caracterizado o problema.

Uma interligação adicional com fios grossos entre os chassis pode resolver de forma definitiva o problema.

### **Tomadas de 3 pinos**

As tomadas dos equipamentos modernos são do tipo de 3 pinos onde existe um pino de terra. Se realmente, na sua instalação este pino for aterrado, ele serve como blindagem para seus equipamentos, minimizando os problemas de captação de ruídos da rede de energia e mesmo outros.

### **Questionário**

1 - Qual das seguintes funções não é realizada por um pré-amplificador?

- a) Equalizar o sinal conforme a fonte
- b) Controlar a tonalidade
- c) Casar a impedância da fonte de sinal com a entrada do amplificador
- d) Aumentar a intensidade do sinal para excitar o amplificador

2 - Nos pré-amplificadores usados com antigos toca-discos temos que tipos de equalização?

- a) Nenhuma
- b) NAB
- c) RIAA
- d) SSB

3 - Que tipo de transistor devemos usar preferencialmente na etapa de entrada de um pré-amplificador?

- a) Um transistor de alto ganho
- b) Um transistor com elevada frequência de corte
- c) Um transistor de potência
- d) Um transistor de baixo nível de ruído

4 - Um pré-amplificador deve ser ligado de que modo num sistema de som?

- a) Entre a fonte de sinal e a entrada do amplificador
- b) Entre a fonte de sinal e a saída do amplificador
- c) Em série com o alto-falante
- d) Em paralelo com o alto-falante

5 - Para que serve a equalização (NAB ou RIAA) num pré-amplificador?

- a) Para aumentar a intensidade dos graves
- b) Para aumentar a intensidade dos agudos
- c) Para devolver a curva de resposta do som original na reprodução
- d) Para se obter mais potência do amplificador

## **Lição 7 - Controles de Tom e Equalizadores**

Outra categoria importante de circuitos e equipamentos auxiliares dos sistemas de som é a formada pelos controles tom e equalizadores.

Os controles de tom, normalmente fazem parte dos circuitos amplificadores enquanto que os equalizadores podem ser parte de um amplificador ou ainda consistir num equipamento externo.

É desses circuitos que trataremos nesta lição.

### **7.1 - Controles de Tom**

Controles de tom ou controles de tonalidade são circuitos cuja finalidade é atenuar ou reforçar uma determinada faixa de frequências de áudio num sistema de som.

Os controles de tom são usados para adequar o tipo de programa que está sendo reproduzido ao ouvido das pessoas.

Por exemplo, utiliza-se um controle de tom para reforçar os sons médios quando desejamos entender melhor quando uma pessoa fala, ou ainda abrimos o controle para ter mais agudos quando desejamos destacar o solo de um violino.

Os controles de tom também visam adequar a reprodução do som às características do ambiente em que ele deve ser reproduzido.

Reflexões e absorções de determinadas frequências podem ser levemente compensadas com a atuação sobre o controle de tom.

No entanto, os controle de tom atuam de uma maneira pobre sobre a reprodução, atenuando ou reforçando apenas uma pequena faixa de frequências.

Nos tipos mais simples temos apenas um controle para esta finalidade.

Nos amplificadores comuns normalmente os controles existentes são os controles de graves e agudos, com atuação em duas faixas de frequências.

Nos sistemas mais sofisticados podemos ter diversos controles e até uma atuação sobre toda a faixa que é dividida em setores, obtendo-se o que se denomina de um equalizador gráfico (ver equalizador gráfico).

O controle de tom mais simples consiste num potenciômetro em série com um capacitor em algum ponto do percurso do sinal de áudio, por exemplo, na entrada, conforme mostra a figura 180.

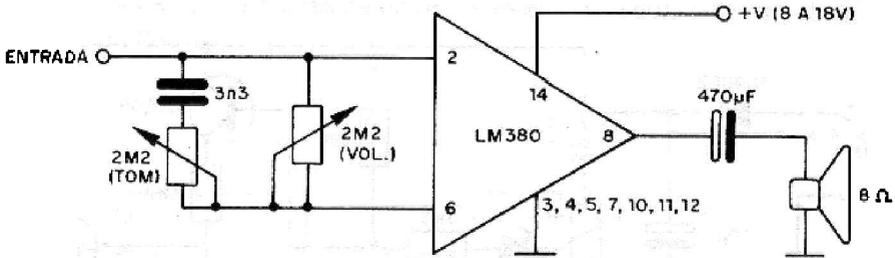


Figura 180 – Controle de tom simples

Quando a resistência do potenciômetro está no mínimo, o capacitor pode desviar para a terra as frequências mais altas, atenuando assim os agudos que são reduzidos.

Um controle de tom mais complexo é o mostrado na figura 181 é o denominado Baxandall. Nele temos dois filtros, sendo um para os graves e outro para os agudos.

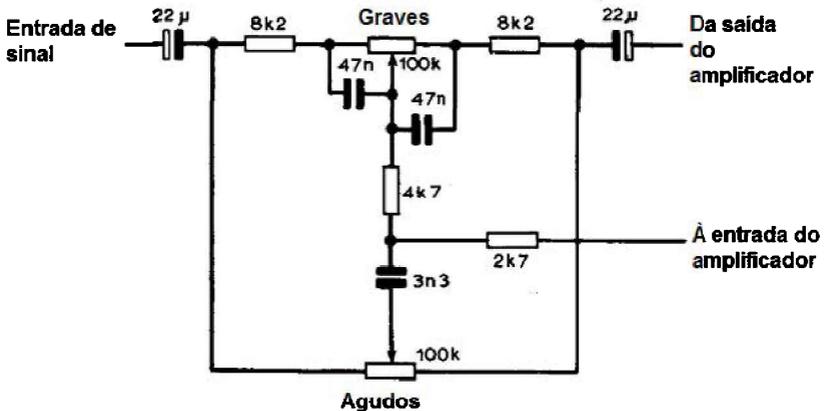


Figura 181 – O controle Baxandall de tom

Os controles de tonalidade ou tom podem variar muito na forma e número de componentes, mas todos eles se baseiam em capacitores e resistores que são ligados de tal forma a operarem como filtros, deixando passar uma determinada faixa de frequências.

Conhecendo as funções dos capacitores o leitor pode fazer algumas modificações no seu som e até mesmo encontrar problemas de funcionamento, mesmo que o circuito não seja exatamente o mesmo que tomamos como exemplo.

Os circuitos podem ter como componentes básicos, integrados, transistores e até mesmo válvulas nos equipamentos mais antigos, mas a operação é sempre a mesma.

Devemos levar em conta que ao atuar sobre os sinais, o controle de tom é responsável por uma fonte diminuição de sua intensidade (atenuação).

Assim, na maioria dos casos o que temos são controles de tom ativos em que existe um transistor (ou outro componente) que compensa as atenuação, amplificando o sinal depois que passam pelo controle.

### Subjetividade

O ajuste de um controle de tom também tem um forte grau de subjetividade, pois as pessoas podem ter diferentes sensibilidades e gostos para a música, preferindo que certas frequências sejam ou não atenuadas.

O circuito que tomamos como exemplo controla graves e agudos (Baxandall) e tem um transistor pré-amplificador. Veja figura 182.

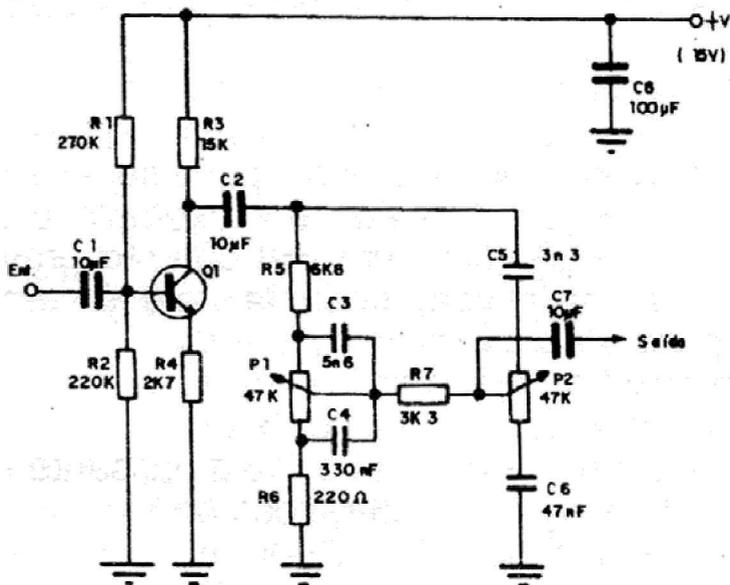


Figura 182 – Um controle de tom com pré-amplificador

**Analise as funções de seus componentes:**

R1 - Este resistor polariza a base do transistor pré-amplificador e juntamente com R2 determina a corrente de repouso e o ganho. Se este transistor sofrer alterações ou abrir teremos forte distorção ou mesmo o corte do sinal amplificado que deve passar e pela impedância do circuito. Reduções de valor deste componente prejudicam a reprodução dos sons graves, enquanto que aumentos geralmente não trazem modificações sensíveis na faixa passante já que no projeto seu valor mínimo é previsto.

Q1 - Este é o transistor, pré-amplificador que deve ter alto-ganho e baixo nível de ruído. É um elemento muito importante nos equipamentos de som, principalmente na substituição, já que o substituto deve ser sempre um transistor de alto ganho e baixo nível de ruído como o BC549.

R3 - Este resistor funciona como carga de coletor do transistor, também determinando o ganho juntamente com os demais resistores no transistor. Seu valor depende do que se pretende também em termos de impedância, já que devemos excitar a etapa de tom que usa somente componentes passivos (que não amplificam o sinal).

Pequenas alterações de valor podem ser experimentadas em alguns casos, se usarmos um transistor de ganho muito alto, por exemplo, e desejamos tirar o máximo deste componente.

R4 - Este resistor no emissor do transistor também influi no ganho e principalmente na impedância de entrada do circuito. Pequenas alterações podem até ser experimentadas em alguns casos, mas como o projeto já prevê as condições ideais de funcionamento para o aparelho, nem sempre isso é recomendado.

C2 - Este capacitor faz o acoplamento do sinal de áudio para a etapa de controle de tom. Seu valor é determinado da mesma forma que C1 e se ele estiver com capacitância reduzida teremos perdas de graves.

Se estiver em curto teremos distorções e panes no sistema de controle de tom.

R5 - Juntamente com R6 este resistor determina a faixa de controle de graves. Seu valor determina o máximo de intensidade que obtemos para os graves e eventualmente pode ser alterado, conforme a aplicação. Uma redução de valor, por exemplo, é admitida se o amplificador vai ser usado com um instrumento grave do qual se deseje o reforço. Nas aplicações comerciais ele já vem calculado de acordo com a equalização das fontes de sinal.

R6 - Este resistor determina o máximo corte de graves e também algumas alterações podem ser feitas.

C3 - Este capacitor determina a faixa passante ou desvio dos agudos pelo controle e algumas alterações podem ser feitas.

C4 - Tem a mesma função de C3 determinando a faixa passante do controle. Alterações de valores são admitidas se o amplificador for usado numa aplicação não convencional.

R7 - este resistor, juntamente com o ramo de controle de graves determina a mistura de graves e agudos que passa por um ramo, dosando assim a faixa de modo que ela seja plana na faixa não controlada, ou seja, no centro da faixa.

Alterações neste componente, assim como em C3 e C4 também tem uma influência sobre a reprodução dos médios.

P1 - Este é justamente o controle dos graves. Quando o cursor corre em direção a R5, mais graves podem passar pelo circuito, havendo então seu reforço ou reprodução mais intensa.

C5 - Este capacitor oferece uma forte oposição aos graves, que então não passam por este ramo que controla totalmente os agudos. Seu valor vai determinar o corte dos graves e, portanto, o limite inferior da faixa de agudos sobre a qual o controle atua.

Se quisermos aumentar o tornar o som muito mais agudo podemos tentar uma redução deste componente.

Um aumento faz com que o controle também atue sobre a faixa dos médios. Se este capacitor abrir, o amplificador ficará pobre em agudos e o controle não atuará,

C6 - Este capacitor, juntamente com C6 coloca em curto os agudos, no extremo da faixa cortada. Ele determinará o corte dos agudos.

Quanto maior for seu valor, mais agudos e até médios serão cortados no final do curso de P2.

P2 - Este é justamente o controle de agudos. Com o cursor todo em direção a C5 temos o reforço ou passagem dos graves que vem via C5 e passam para C7. Com o cursor dotado de C6 os agudos são curto-circuitados para a terra.

C7 - Este capacitor toma os sinais graves e agudos e também os médios, entregando-os à entrada do amplificador propriamente dito, via controle de volume.

Seu valor deve ser tal que os graves devem passar sem encontrar oposição, e normalmente o valor indicado é o mínimo que resulta numa reprodução plana dentro da faixa proposta pelo projeto.

C8 - A finalidade deste capacitor é desacoplar a fonte e proporcionar uma filtragem adicional, evitando-se assim instabilidades de funcionamento e também roncões.

Quanto maior for o valor, melhor, até o limite em que o custo e o benefício devem ser levados em conta.

Da mesma forma, podemos ter circuitos de controle de tom com integrados e com válvulas. Na figura 183 damos um controle de tom de um antigo circuito valvulado do tipo Baxandall.

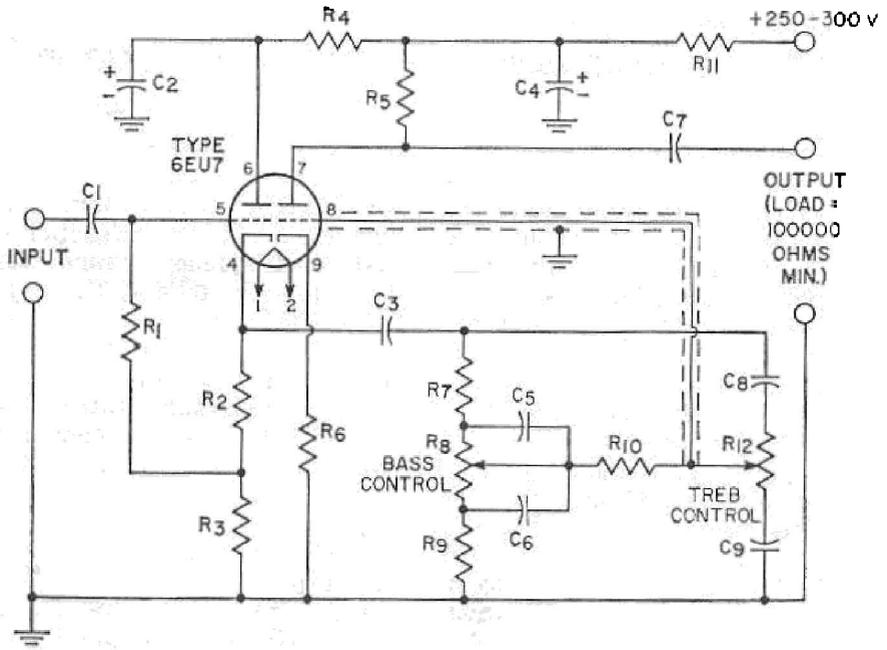


Figura 183 – Controle de tom valvulado

Este circuito utiliza um duplo triodo e atua sobre os graves e os agudos.

**Som de válvula**

Mais adiante neste curso faremos alguns comentários sobre a utilização mesmo em nossos dias de amplificadores valvulados.

**7.2 - Os equalizadores**

Os equalizadores de áudio são recursos importantes dos sistemas de som podendo vir na forma de equipamentos completos separados ou incorporados a amplificadores e outros equipamentos de som.

Conforme salientamos, os ambientes não possuem características acústicas iguais e os ouvintes também não se comportam da mesma maneira diante de um mesmo som.

Para complicar mais o problema, cada tipo de programa sonoro possui características próprias que exigem a reprodução de uma forma diferente.

Tudo isso significa que os amplificadores não podem ser todos iguais na maneira de funcionar, pois a qualidade de som que vamos obter também depende do ambiente em que ele vai operar e das próprias características do ouvinte e da música que vai ser reproduzida.

A maneira mais simples de se adequar as características do equipamento ao ambiente e o gosto do ouvinte é por meio do controle de tom.

Atuando sobre a curva de resposta de um equipamento de som, o controle de tonalidade normalmente altera a intensidade dos sons graves e agudos, conforme mostra a figura 184.

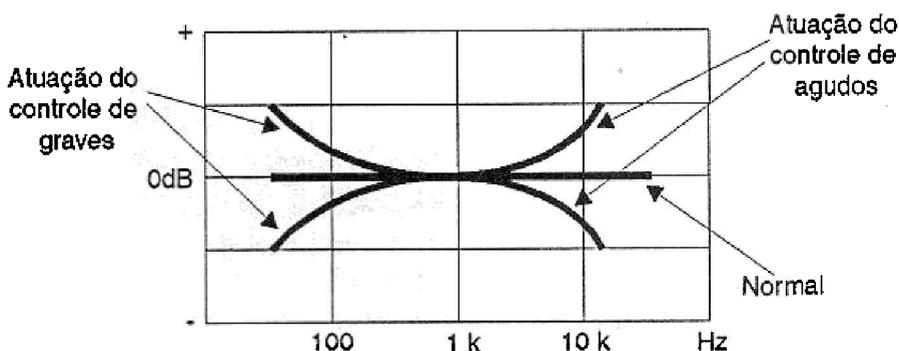


Figura 184 – Curvas de equalização

Em outras palavras, o controle de tom basicamente atua sobre os extremos da curva de resposta, modificando a intensidade segundo a qual os sons de baixas (graves) e de altas (agudos) frequências são reproduzidos.

Para um equipamento simples este recurso satisfaz plenamente: quando vamos ouvir música, onde os graves e agudos são importantes para a sua "coloração" abrimos os controles destas frequências e quando vamos ouvir a voz falada, numa entrevista, portanto, obtemos muito maior ineligibilidade fechando os graves e agudos, conforme sugere a figura 185.

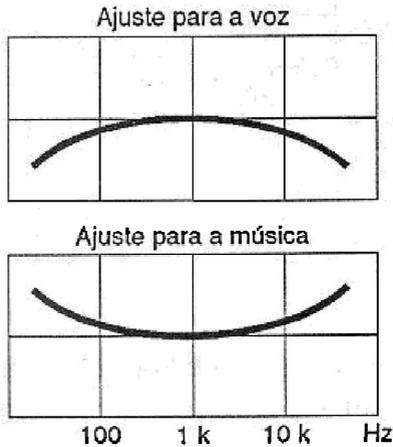


Figura 185 – Equalizações recomendadas

Os equipamentos de som um pouco mais sofisticados podem ter um terceiro controle que é o de médios.

Neste caso, o que temos já é uma possibilidade maior de modificar a curva de resposta do sistema de som, ou seja, já temos a possibilidade de “equalizar” o funcionamento do circuito, conforme mostra a figura 186.

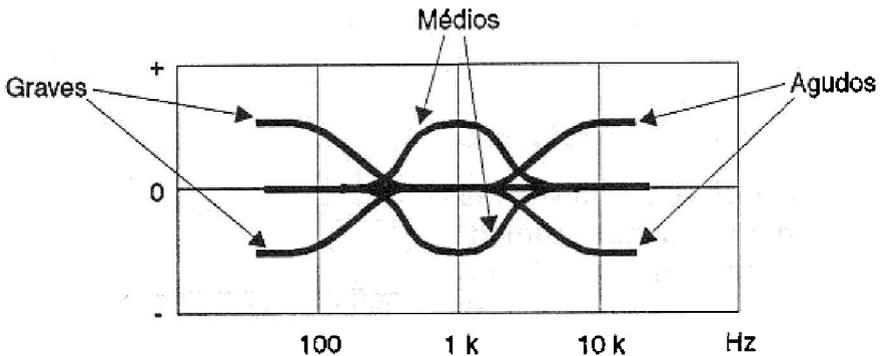


Figura 186 – Curvas de ajustes para três faixas

No entanto, na reprodução de um som num determinado ambiente ocorrem diversos problemas acústicos importantes que os controles de graves e agudos e mesmo os de médios não podem corrigir.

Um ambiente acústico convencional como uma sala, e pior ainda, o interior de um automóvel, tem formas e objetos que afetam a propa-

gação do som. Ocorrem então reflexões e absorções de frequências totalmente imprevisíveis.

Estes ambientes não são como as câmeras anecóicas em que os equipamentos de som são testados e que possuem paredes totalmente absorventes de sons, não havendo qualquer tipo de reflexão, conforme mostra a figura 187.

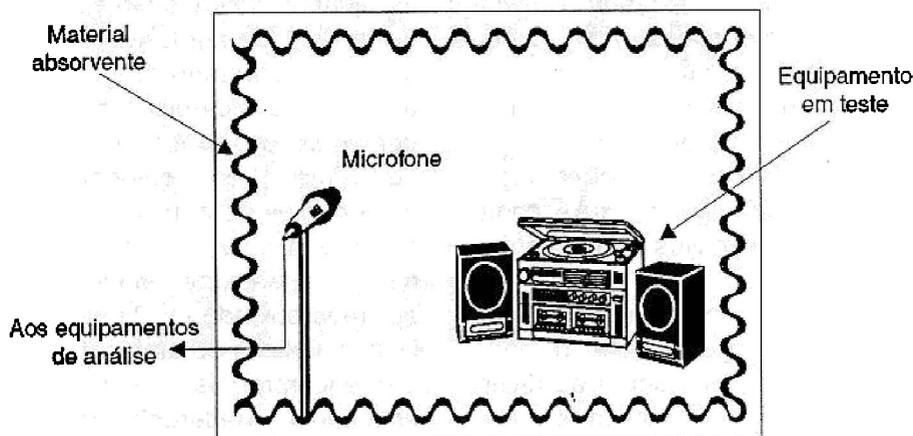


Figura 187 – análise de equipamento em câmara anecóica

Estas câmeras permitem fazer o teste do equipamento sem a influência do meio externo final em que ele vai funcionar, o que é importante para avaliação do fabricante.

No entanto, para o usuário muita coisa acontece depois que o equipamento sai da loja.

De fato, não são poucos os compradores de equipamentos de som que ficam surpreendidos e até mesmos decepcionados com a mudança da qualidade de som de seus equipamentos.

Ela é bem diferente daquela que ele experimentou quando o vendedor fez uma demonstração numa sala preparada acusticamente.

É claro que muitos usuários chegam ao requinte de preparar acusticamente sua sala, mas nem sempre isso é possível. É o que ocorre no caso de um carro.

O ambiente acústico bastante problemático que é o interior de um automóvel não pode ser alterado.

No entanto, se os ambientes não podem ser alterados, o que podemos fazer para melhorar a qualidade de reprodução é modificar o modo como o equipamento funciona, de modo a compensar reflexões e absorções de frequências indevidas.

Como o espectro sonoro é algo amplo, não podemos atuar sobre cada frequência individualmente.

Assim, o que se faz é agregar ao equipamento circuitos que atuem sobre faixas de frequências.

Temos então os chamados equalizadores gráficos, como o mostrado na figura 188.

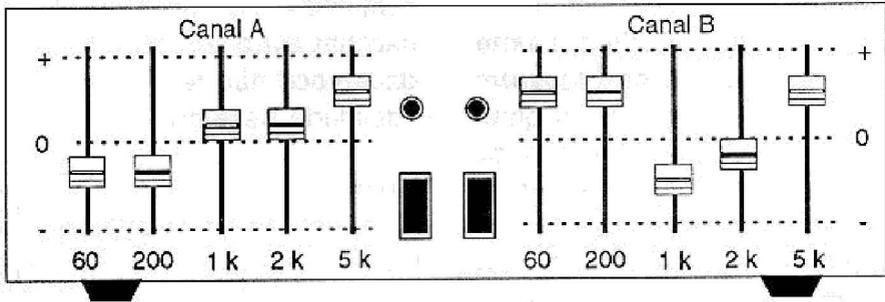


Figura 188 – Um equalizador Gráfico

Este equalizador atua sobre 5 frequências, que o fabricante entende que sejam importantes para se compensar os efeitos do ambiente ou mesmo as exigências do ouvido do usuário.

Na verdade, as frequências indicadas correspondem aos centros de faixas de tal modo que a largura de cada uma seja tal que tenhamos uma cobertura contínua do espectro, conforme mostra a figura 189.

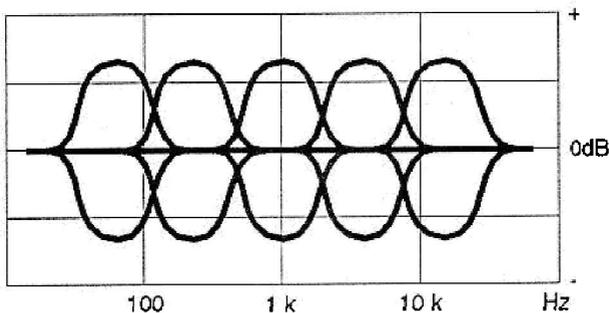


Figura 189 – Atuação de um equalizador gráfico de 5 canais

Veja então que temos uma posição de referência (0 dB) para todos os controles em que não obtemos nem atenuação e nem reforço das frequências em torno do valor especificado.

Na posição em que todos os controles estão no zero, o circuito tem uma resposta linear, ou seja, temos a resposta original do som.

A partir deste ponto podemos atenuar ou reforçar faixas de frequências conforme as exigências do ambiente, o tipo de música a ser reproduzida ou mesmo a sensibilidade do ouvido do usuário.

### Mais uma vez a subjetividade

Da mesma forma que no caso dos controles de tom, o ajuste dos equalizadores também tem muito a ver com o gosto do ouvinte que pode querer que certas frequências sejam reforçadas ou atenuadas.

Na figura 190 temos um exemplo em que se ajusta o equalizador para um reforço das frequências extremas do espectro, ou seja, um reforço dos graves e dos agudos, o que é interessante na audição de música clássica onde instrumentos graves como o símbolo podem se tornar proeminentes ou instrumentos agudos como a flauta e o violino.

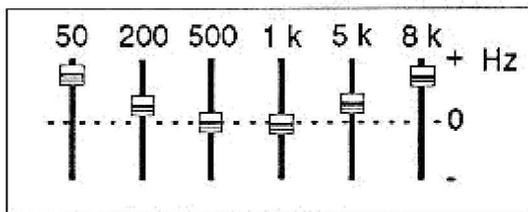


Figura 190 – Ajuste para instrumentos musicais

Para a palavra falada, por exemplo, quando ajustamos um equalizador para trabalhar com um microfone é interessante atenuar os graves e os agudos que além de não contribuírem para a inteligibilidade são responsáveis por uma boa parte das reflexões e até pelo fenômeno da microfonia.

É claro que nesta faixa intermediária o usuário pode notar um reforço ou atenuação indevida de certas frequências, caso em que, com o ouvido mais apurado pode fazer sua compensação atuando sobre os controles correspondentes.

### 7.3 - Como usar os equalizadores

Conforme explicamos, os equalizadores podem fazer parte de muitos equipamentos de som como podem ser vendidos na forma de conjuntos separados como o da figura 191.

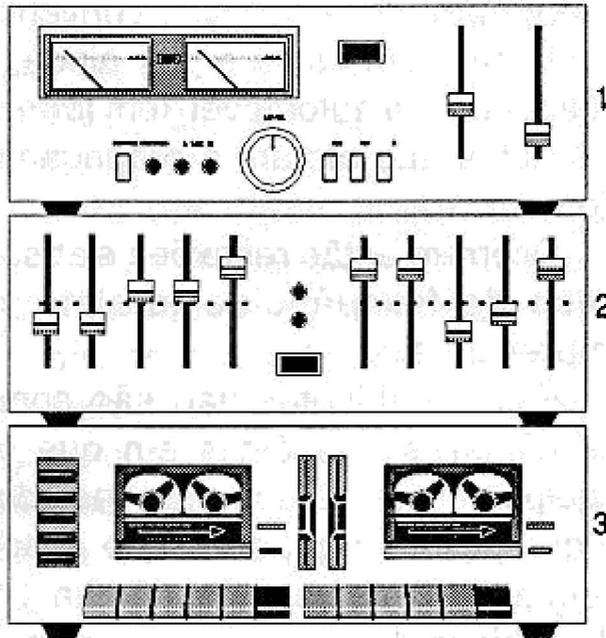


Figura 191 – Conjunto de equipamentos de som

No conjunto da figura 191 temos controles para os dois canais, já que se trata de equipamento estéreo e para ser usado ele é intercalado entre a fonte de sinal e a entrada do amplificador final.

A fonte de sinal pode ser uma mesa de som, um toca-fitas, um toca-discos, um CD-player ou qualquer outro dispositivo que forneça um sinal de baixa intensidade com equalização padronizada.

A equalização padronizada é a que depende do próprio dispositivo. Por exemplo, num toca-discos, pelas características do sistema mecânico de gravação e reprodução, o processo é acompanhado de um reforço de determinadas frequências.

Se o sinal captado pelo transdutor da agulha de um toca-discos fosse amplificado linearmente os sons não corresponderiam à realidade pois haveriam frequências com intensidades maiores que a original e também frequências com intensidades menores.

Assim, de modo a devolver as características originais dos sinais gravados, os sinais dos toca-discos precisam passar por equalizadores RIAA.

Na figura 192 temos um exemplo de circuito equalizador RIAA como encontrado em muitos equipamentos de som.

Já estudamos este tipo de circuito nesta mesma lição.

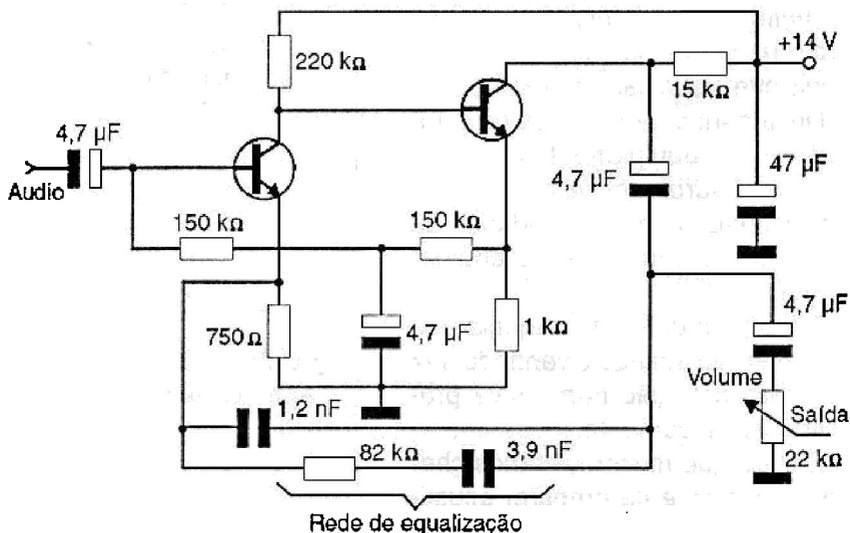


Figura 192 – Circuito equalizador RIAA

Os valores dos resistores e dos capacitores determinarão o modo de ação do circuito sobre as diversas frequências que devem ser atenuadas e reforçadas.

É por este motivo que os amplificadores possuem entradas específicas para toca-discos, pois elas contem os componentes que fazem a equalização de modo a trazer de volta a fidelidade original do sinal.

Se você ligar um toca-discos em outra entrada de seu amplificador ele provavelmente vai funcionar, mas sua curva de resposta ficará modificada.

O mesmo ocorre em relação aos gravadores de fita em que também temos uma equalização cuja finalidade é devolver, na reprodução, as intensidades originais aos sinais das diversas frequências da faixa audível.

Por este motivo os decks e os circuitos internos das cabeças gravadoras devem entrar em circuitos equalizadores NAB dos amplificadores.

A ligação de um gravador em outra entrada de seu equipamento de som provavelmente não causará problemas de sobrecargas ou ainda fará com que ele deixe de funcionar, mas não haverá a equalização apropriada e você não terá um som com a fidelidade desejada.

Quando usamos um equalizador de um equipamento de som que o possua incorporado, as equalizações originais do toca-discos e do gravador já estão previstas nos circuitos de entrada.

Isso significa que colocando todos os controles do equalizador no zero teremos a curva de resposta original.

No entanto, dependendo do que estamos ouvindo ou das características acústicas do ambiente em que nos encontramos podemos alterar esta curva.

A alteração vai depender da sensibilidade do ouvinte, do que ele deseja ouvir e finalmente das próprias características do ambiente em que o equipamento está funcionando.

O importante para o usuário inteligente é saber ajustar o equalizador de forma a obter o melhor som e não de forma aleatória e sempre igual como vemos em muitos casos em que o que se deseja é o reforço de tudo, o que pode ser conseguido pelo controle de volume!...

#### **NAB e RIAA**

A utilização desses equalizadores é fundamental para a recuperação de gravações antigas ou discos, pois somente com eles é possível recuperar as características da gravação original.

Este tipo de circuito permite atuar sobre a faixa de áudio com uma equalização mais apropriada às características do ouvido humano, sendo encontrado na maioria dos amplificadores analógicos comuns.

Nas mesas de som de sistemas de sonorização ambiente também encontramos os equalizadores, cuja finalidade é permite o correto ajuste da fonte de sinal às características do ambiente.

Reflexões ou ressonâncias em determinadas frequências, para o caso de microfones, e que seriam responsáveis por sons estridentes, microfonia, etc., podem ser atenuadas.

Nos equipamentos digitais o controle de tom é feito por software, ou seja, por um programa que atua diretamente na determinação da intensidade que cada frequência deve participar na composição do sinal que deve ser reproduzido. DSPs são os componentes que podem ser usados na elaboração de controles de tom digitais.

## 7.4 - Loudness

Se bem que o termo signifique "volume", em algumas publicações ligadas ao áudio o termo refere-se ao que se denomina "audiabilidade". Neste caso, o termo refere-se a sensação subjetiva de intensidade luminosa do ouvido humano. Um gráfico de audiabilidade revela como o ouvido humano responde às diversas frequências em relação à intensidade do som. A maioria dos projetos de amplificadores de áudio não inclui controle de audiabilidade ou "loudness". Estes controles são importantes, pois aumentam o ganho dos amplificadores nos extremos da faixa audível, melhorando assim a qualidade de som principalmente na reprodução de música orquestrada.

Neste artigo descrevemos um controle de loudness que pode ser acrescentado a praticamente qualquer amplificador de áudio.

Loudness significa audiabilidade, uma tradução um tanto quanto esquisita e que não revela, no entanto, sua importância para a qualidade de som de um amplificador.

O que ocorre é que na reprodução todos os amplificadores tendem a simplesmente compensar a maneira como as frequências são reforçadas ou atenuadas, levando uma gravação ou programa de rádio a adquirir a forma original que nem sempre é a mais agradável.

A música orquestrada, por exemplo, perde muito das notas mais baixas e mais altas se for feita apenas uma compensação natural, ou equalização que a leve a forma original.

Se reforçarmos um pouco mais do que o normal os extremos da faixa de frequências audíveis, a música se torna mais agradável, pois os instrumentos de notas baixas e altas passam a aparecer.

E o caso do violino, do triângulo e do prato no extremo superior da faixa e do trombone, bumbo e tuba no extremo inferior da faixa, conforme mostra a figura 193.

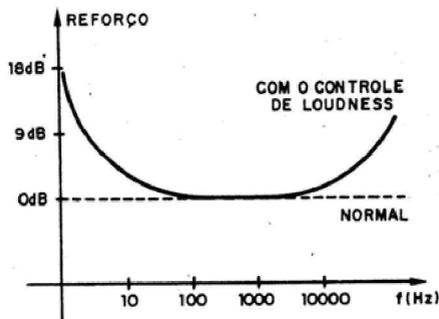


Figura 193 – Reforçando os extremos da faixa

Muitos amplificadores comerciais são dotados de uma tecla de audibilidade ou "Loudness".

Esta tecla não deve ser usada com música cantada ou com a palavra falada onde a inelegibilidade depende de um nível maior para os sons médios.

### **Loudness e equalizadores**

No fundo quando ajustamos um equalizador gráfico para reforçar os extremos da faixa audível estamos adicionando "loudness" a um som, caso em que um circuito específico para esta finalidade é desnecessário.

No entanto, com a música orquestrada o som se torna mais agradável se pressionarmos esta tecla, reforçando os extremos da faixa.

O circuito que damos como exemplo pode ser intercalado entre o pré-amplificador com sinal de 200 a 500 mV de saída e a entrada do amplificador, fornecendo um reforço de até 18 dB no extremo inferior da faixa e até 8 dB no extremo superior, mantendo normal a reprodução entre os 200 e os 5000 Hz que correspondem aos médios.

Usando apenas um transistor, esta etapa tem um consumo muito baixo e pode aproveitar a própria fonte do amplificador, desde que ela possua uma tensão entre 18 e 22 V.

### **CARACTERÍSTICAS**

Tensão de alimentação: 18 a 22 V

Reforço de graves: 18 dB em 80 Hz (max)

Reforço de agudos: 8 dB em 15 kHz (max)

Corrente de alimentação: 2 mA (tip)

Impedância de entrada: 22 k $\Omega$

Nível de sinal de entrada: 200 a 500 mV

## **7.5 - Como funciona**

O sinal de entrada direto ou do pré-amplificador passa inicialmente por um filtro passa baixas formado pelos resistores de R1 a R6 e pelos capacitores de C1 a C6 que cortam as frequências médias e agudas, possibilitando assim comparativamente um reforço das baixas frequências.

O sinal é então aplicado a um transformador de alto-ganho e baixo nível de ruído para amplificação.

Entre o coletor e a base deste transistor temos um circuito de realimentação negativa que possibilita um ajuste adicional de ganho nos graves via P1.

C1, C2 e C3- determinam o nível de agudos desejados, podendo seu valor ser aumentado para um reforço maior desta faixa de frequências ou reduzido se isso não precisar ser feito.

A alimentação do circuito vem via R14 com urna filtragem e desacoplamento feito por C11.

O sinal para o amplificador é retirado do coletor do transistor via C9. O valor deste componente é importante para a resposta de graves, não devendo ser inferior ao indicado.

Um valor maior possibilita um reforço ainda maior na faixa dos graves.

Na figura 194 temos o diagrama completo do controle de audibilidade (loudness) para um canal.

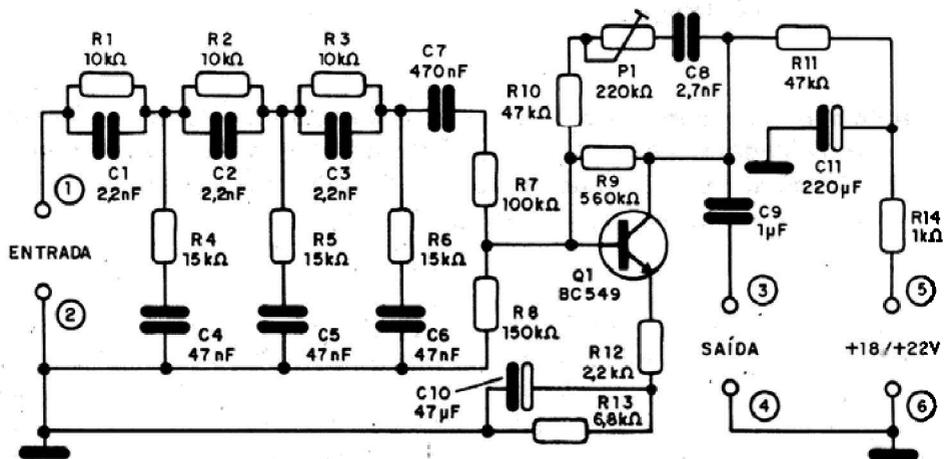


Figura 194 – Circuito do reforçador

Dois circuitos semelhantes, alimentados pela mesma fonte serão necessários para um amplificador estéreo.

Se o leitor optar por placa separada, na figura 195 temos a sugestão de layout para um canal.

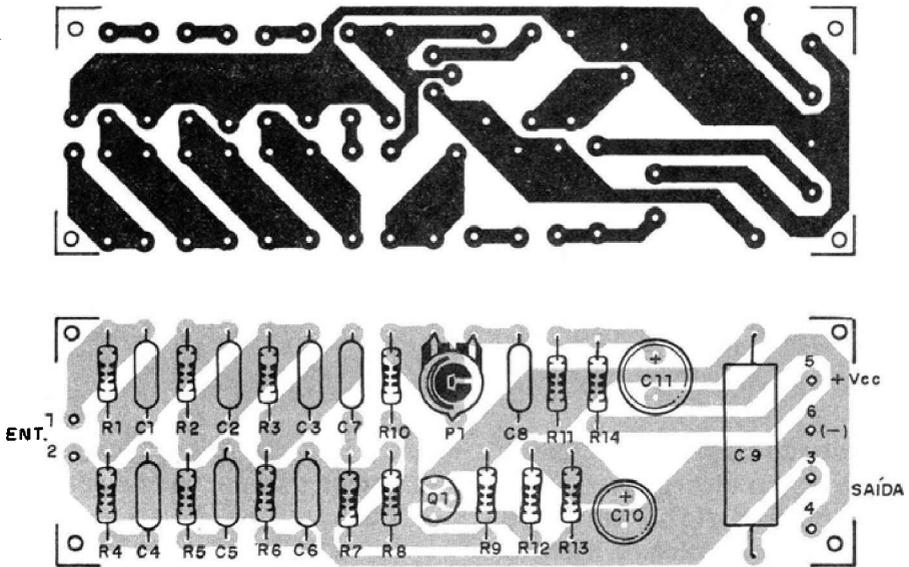


Figura 195 – Placa de circuito impresso para a montagem

Os resistores são todos de 1/8 ou 1/4 W com 5% de tolerância ou mais.

Os capacitores menores podem ser cerâmicos ou de poliéster e os eletrolíticos são para 16 V ou mais.

O transistor admite equivalentes, sempre dando-se preferência a um tipo de baixo ruído e alto ganho.

Os cabos de entrada e saída de sinais, se usados, devem ser blindados para que não ocorra a captação de zumbidos.

P1 é um trimpot montado na própria placa de circuito impresso. Este componente pode ser substituído por um resistor fixo de 220 k ohms caso o leitor deseje um desempenho normal do controle, sem ajustes.

Na figura 196 temos o modo de se ligar o aparelho à entrada de um amplificador, acrescentando-se a chave de loudness.

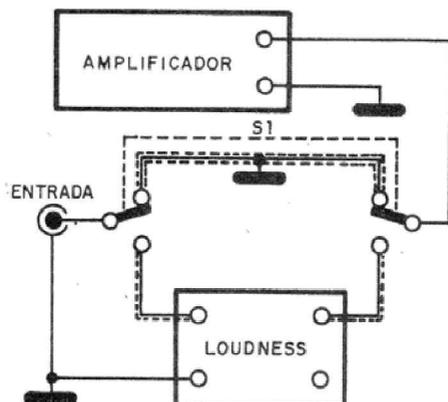


Figura 196 – Circuito de utilização

Os cabos de conexão ao circuito e conexão direta devem ser blindados, para que não haja perigo de captação de zumbidos.

### **Impedância**

Como todos os circuitos que são usados com fontes de sinais de baixa intensidade e devem excitar amplificadores, devemos também estar atentos para suas características de impedância, para que um correto casamento ocorra e com isso a melhor transferência do sinal.

Para usar, inicialmente ajuste P1 para ter um bom reforço de graves e agudos usando para esta finalidade uma gravação com música orquestrada.

Depois é só acionar o controle ao ouvir o mesmo tipo de música. Para a palavra falada ou ainda a música cantada o controle não deve ser usado.

Alterações de valores de componentes como os capacitores de C1 a C6 podem ser feitas se o leitor desejar mais reforços de graves ou agudos.

Este tipo de alteração é recomendada em especial se o leitor usar o aparelho com instrumentos musicais (graves ou agudos) caso em que faixas específicas de frequências, poderão ter reforços.

Este aparelho pode ser útil na realização de cópias de gravações quando podem ocorrer perdas de graves e agudos, servindo assim como uma espécie de "purificador de cópias"

No caso, também sugerimos que o leitor faça experiências com os valores dos capacitores de C1 a C6 adequando-se as características de seu equipamento nesta função.

### **Questionário**

1 - Um controle simples de tom serve para:

- a) Aumentar ou diminuir o nível de graves e agudos
- b) Obter o reforço de graves
- c) Equalizar o circuito
- d) Obter mais potência do amplificador

2 - Os componentes usados nos controles de tom são principalmente:

- a) Indutores e transistores
- b) Transformadores
- c) Resistores e capacitores
- d) Amplificadores operacionais

3 - Para se obter o reforço ou atenuação de determinadas faixas de frequências num sistema de som utilizamos circuitos denominados:

- a) Pré-amplificadores
- b) Controles de tom
- c) Equalizadores
- d) Filtros

4 - Para se obter melhor resposta para a palavra falada utilizando um equalizador devemos:

- a) Aumentar os graves
- b) Aumentar os agudos
- c) Aumentar os médios
- d) Aumentar toda a faixa de frequências

5 - Os equalizadores são ligados de que modo num sistema de som:

- a) Entre a fonte de sinal ou pré amplificador e a entrada do amplificador
- b) Entre a fonte de sinal ou pré-amplificador e a saída do amplificador
- c) Antes da fonte de sinal
- d) Em série com o alto-falante

## Lição 8 - Filtros divisores e outros circuitos

Estudaremos nesta lição mais alguns circuitos encontrados nos equipamentos de som, com especial destaque para os filtros divisores cuja finalidade é separar as frequências de acordo com as características dos alto-falantes que devem reproduzi-las.

### 8.1 - Filtros ou Separadores de Frequências

Os alto-falantes comuns não conseguem reproduzir satisfatoriamente todos os sons da faixa de frequência que podemos ouvir. Já estudamos isso na lição correspondente aos alto-falantes.

Isso significa a necessidade de usarmos alto-falantes diferentes e com eles circuitos que separam as frequências que cada um pode reproduzir.

Conforme estudamos, um alto-falante comum de bobina móvel utiliza um cone para produzir as ondas de compressão e descompressão que consistem nos sons, conforme mostra a figura 197.

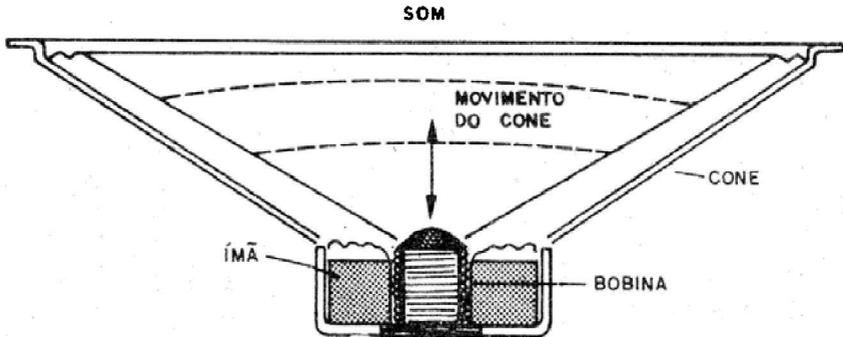


Figura 197 – Estrutura de um alto-falante comum

Mesmo com o aperfeiçoamento das tecnologias de construção destes alto-falantes com ímãs muito poderosos e bobinas com geometria especial, ainda existe uma limitação para a faixa de frequências que cada um pode reproduzir.

As faixas de cada tipo são dadas juntamente com suas especificações, mas o que sabemos é que num alto-falante único, as diversas frequências que normalmente encontramos nos sistemas de som, são geradas em regiões diferentes do cone, conforme mostra a figura 198.

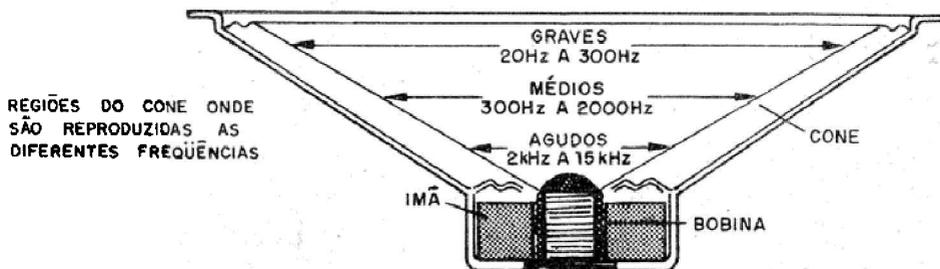


Figura 198 – As regiões de reprodução

Observe que os graves são reproduzidos justamente na região de maiores dimensões, daí os alto-falantes maiores reproduzirem melhor esta faixa de frequências.

No entanto, na prática, é muito melhor contarmos com alto-falantes especialmente construídos para cada faixa de frequências, conforme mostra a figura 199.

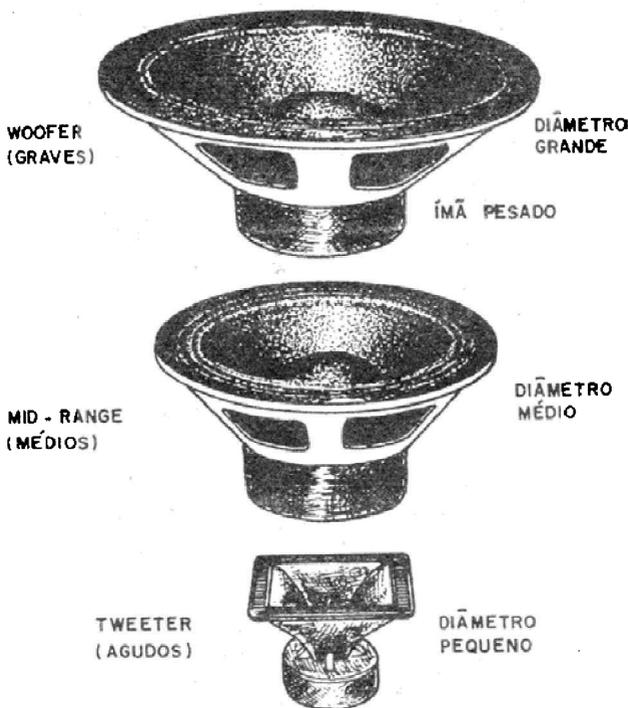


Figura 199 – Os tipos de alto-falantes

Tecnologias modernas, usando tipos de ímãs da grande poder magnético, permitem construir alto-falantes muito pequenos capazes de cobrir faixas amplas do espectro audível.

No entanto, na prática, nos sistemas convencionais são usados diversos alto-falantes.

Conforme mostra a figura, temos os tweeters que reproduzem as altas frequências que correspondem aos sons agudos.

Temos os mid-ranges, cuja finalidade é reproduzir as médias frequências ou médios.

Finalmente, temos os woofers que são os alto-falantes de baixas frequências, ou seja, os graves.

Para separar os sinais das diversas faixas existem muitas configurações possíveis, algumas simples e outras sofisticadas que envolvem muitos componentes.

As configurações principais se baseiam nas propriedades dos capacitores e dos indutores.

Os capacitores apresentam uma reatância capacitiva, bloqueando as baixas frequências, enquanto que os indutores bloqueiam as altas frequências, conforme mostra a figura 200.

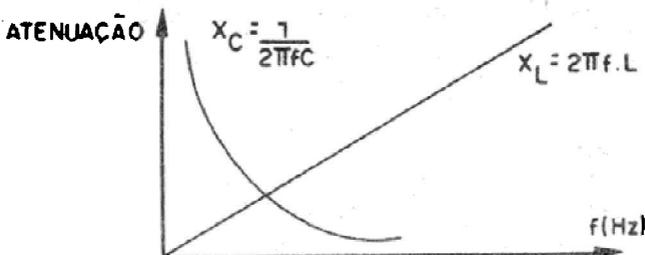


Figura 200 – Reatância capacitiva e indutiva

Filtros muito simples podem ser feitos com poucos componentes como no caso dos agudos e que consiste na ligação de um capacitor despolarizado em série com o tweeter, conforme mostra a figura 201.

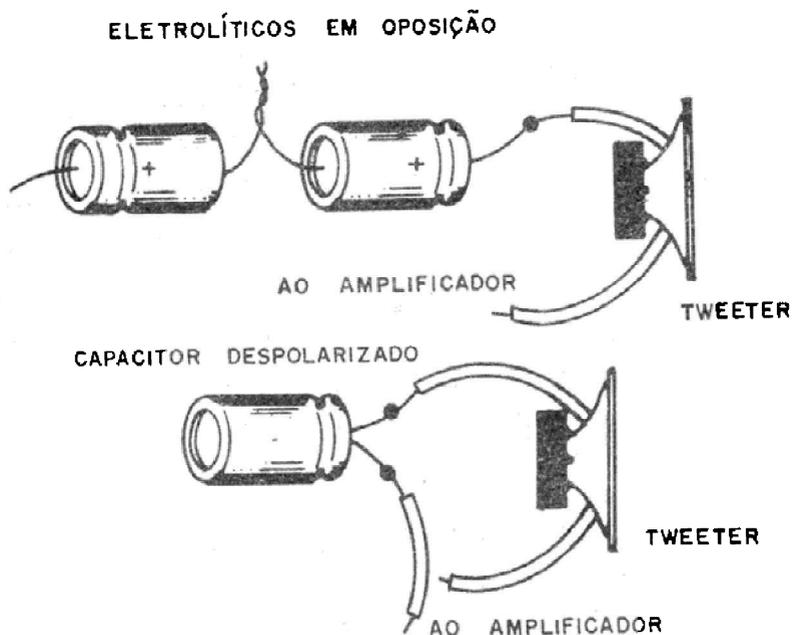


Figura 201 – Filtro de agudos

Podemos usar dois capacitores eletrolíticos em oposição ou então um capacitor especialmente projetado para esta função que é despolarizado.

Filtros mais elaborados utilizam indutores e capacitores.

### **Filtros**

Os filtros utilizados para separar os sinais para os alto-falantes são filtros separadores de frequências ou divisores de frequências. Se bem que tenham semelhanças como filtros passa baixas, passa-faixas e passa-altas usados em outras aplicações, eles são projetados especificamente para operar com sinais de grande intensidade e baixa impedância.

Na figura 202 temos um filtro separador mais elaborado que utiliza capacitores e indutores.

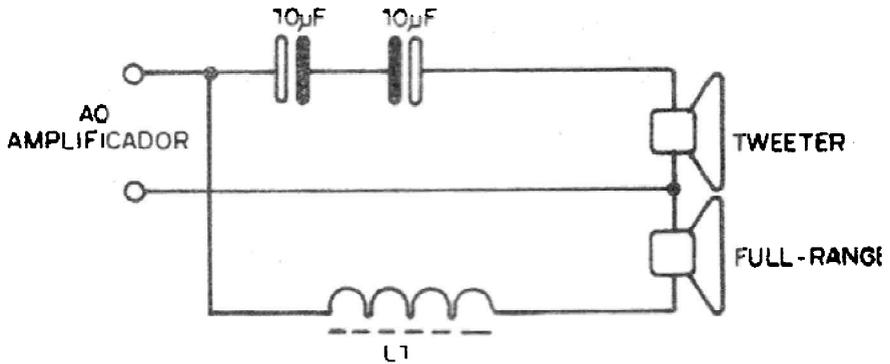


Figura 202 – Filtro de dois canais

Os capacitores deixam passar os agudos para o tweeter e os indutores deixam passar os graves para o mid-range que é um alto-falante de médios e graves.

Na figura 203 temos o aspecto real da montagem.

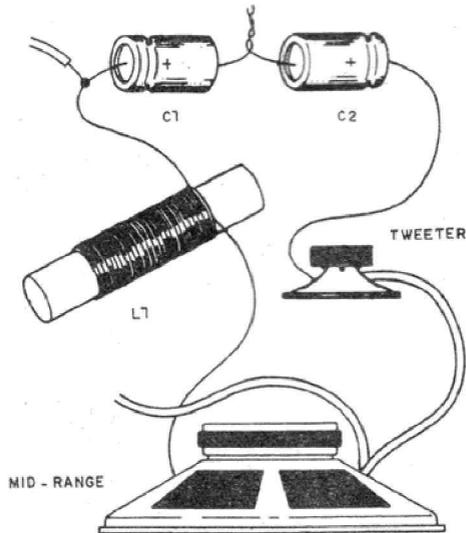


Figura 203 – O filtro de dois canais

O indutor pode ser feito enrolando-se umas 200 espiras de fio 28 ou mais grosso, conforme a potência do amplificador num bastão de ferrite.

Este filtro tem uma característica que é mostrada na figura 204.

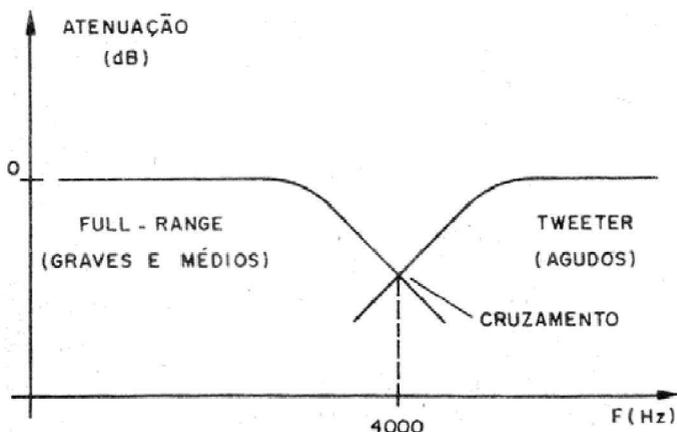


Figura 204 – Característica do filtro

O ponto em que as curvas de cada alto-falante se cruzam é denominado crossover ou cruzamento.

Conforme observamos pela curva dada como exemplo, os filtros não cortam todo o sinal a partir de determinado ponto de sua ação, mas sim começam a atenuar este sinal que vão decrescendo em intensidade.

Veja que a curva das faixas não é abrupta, mas tem uma certa inclinação que indica a eficiência do filtro.

A eficiência ou qualidade do filtro é então dada pelo número de dB por oitava (decibéis por oitava) que o sinal é atenuado a partir da frequência de corte.

Por exemplo, um filtro com 6 dB por oitava, atenua o sinal em 6 dB quando a frequência é 1/8 maior que a frequência para o qual ele é projeto.

Um filtro de 800 Hz, por exemplo, atenuará um sinal de 880 Hz (1/8 a mais) em 6 dB.

A tabela abaixo mostra as atenuações que ocorrem para diversos valores em dB.

dB	ganho	atenuação
1	1,26	0,79
2	1,58	0,63
3	2,0	0,5
4	2,51	0,4
5	3,16	0,32
6	3,98	0,25
7	5,0	0,2
8	6,3	0,16
9	7,94	0,13
10	10,0	0,10
11	12,6	0,079
12	15,8	0,063
13	20,0	0,05
14	25,1	0,04
15	31,6	0,032
16	39,8	0,025
17	50,0	0,02
18	63,0	0,016
19	79,4	0,013
20	100	0,01
21	126	0,0079
22	158	0,0063
23	200	0,005
24	251	0,004
25	316	0,0032
26	398	0,0025
27	500	0,002
28	630	0,0016
29	794	0,0013
30	1000	0,001
31	1260	$79 \times 10^{-5}$
32	1580	$63 \times 10^{-5}$
33	2000	$50 \times 10^{-5}$
34	2510	$40 \times 10^{-5}$
35	3160	$32 \times 10^{-5}$
36	3980	$25 \times 10^{-5}$
37	5000	$20 \times 10^{-5}$
38	6300	$16 \times 10^{-5}$
39	7940	$13 \times 10^{-5}$
40	10 000	$10 \times 10^{-5}$
41	12 600	$7,9 \times 10^{-5}$
42	15 800	$6,3 \times 10^{-5}$
43	20 000	$5,0 \times 10^{-5}$
44	25 100	$4,0 \times 10^{-5}$
45	31 600	$3,2 \times 10^{-5}$
47	50 000	$2,0 \times 10^{-5}$
48	63 000	$1,6 \times 10^{-5}$
49	79 400	$1,3 \times 10^{-5}$
50	100 000	$1,0 \times 10^{-5}$

Veja por esta tabela, que para um filtro de 6 dB de atenuação, o sinal de 880 Hz tem apenas  $\frac{1}{4}$  (0,25) da intensidade do sinal em 800 Hz.

Os filtros usados em sistemas de alto-falantes, conforme suas configurações podem ter atenuações de 6, 12 ou 18 dB, conforme mostra a figura 205.

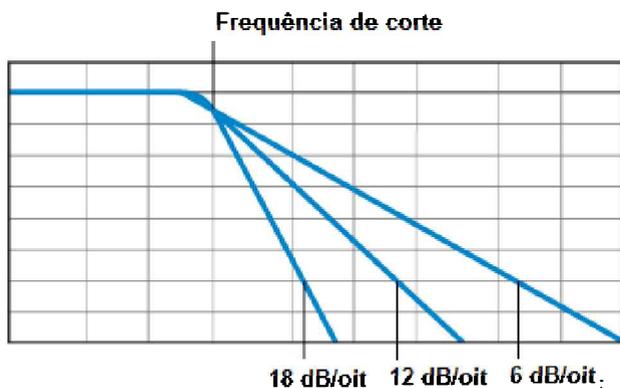


Figura 205 – Características dos diversos tipos de filtros

É importante observar que quando ligamos dois alto-falantes de 8 ohms em paralelo, a impedância apresentada pelo conjunto passa a ser de 4 ohms.

Isso não ocorre quando usamos dois alto-falantes de 8 ohms, mas com filtros separadores.

Conforme mostra a figura 206, a impedância do conjunto é mantida.

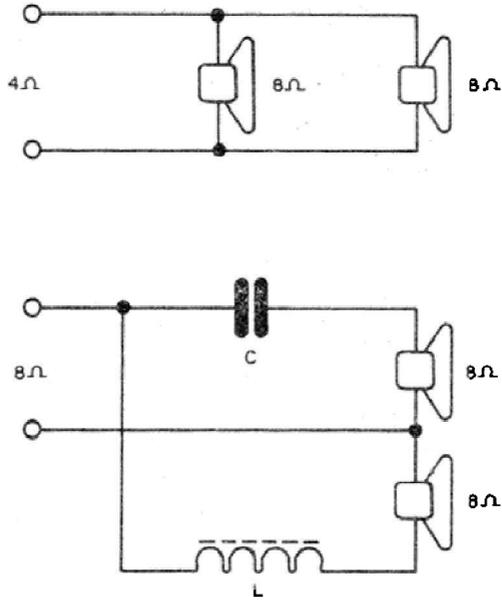


Figura 206 – A manutenção das impedâncias

### **Impedância**

Quando usamos filtros separadores, a impedância do conjunto é igual a impedância dos alto-falantes utilizados.

Para três canais, podemos contar com o filtro mostrado na figura 207.

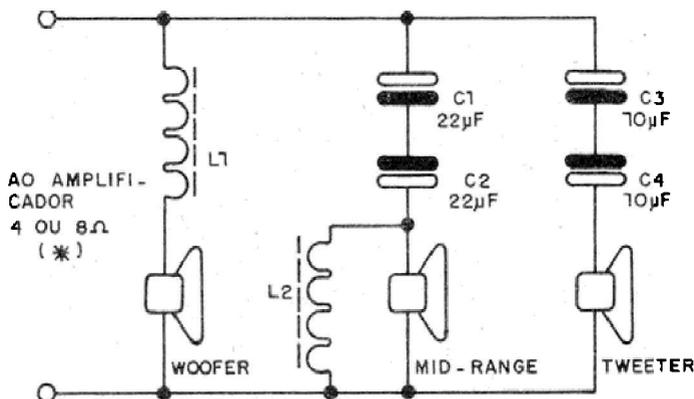


Figura 207 – Filtro de 3 canais

Neste filtro, temos a separação dos graves, médios e agudos para alto-falantes correspondentes.

Os valores dos capacitores e as características dos indutores dependem da impedância dos alto-falantes e da potência do amplificador.

Na figura 208 temos o aspecto da montagem, cujos detalhes podem ser encontrados em diversos artigos deste site.

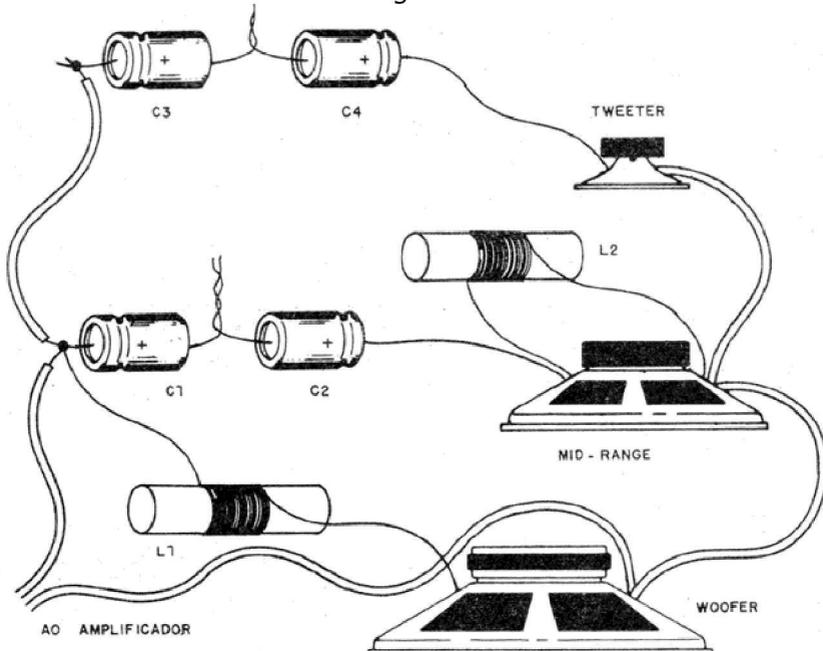


Figura 208 – Aspecto da montagem

Nas casas especializadas em alto-falantes e equipamentos de som podemos contar com filtros separadores prontos, como o mostrado na figura 209.

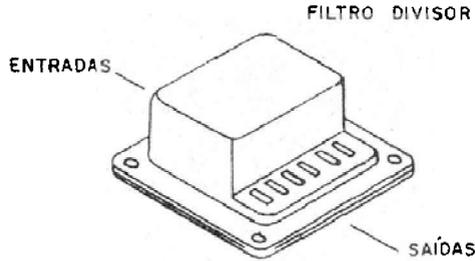


Figura 209 – Filtro separador comercial

Este tipo de filtro já especificado para a potência do amplificador com que vai ser usado e tem duas ou três saídas para os alto falantes. Conforme vimos, existem diversas configurações possíveis para os filtros separadores ou divisores usados com alto-falantes.

O número de indutores determinará a sua atuação havendo assim muitas possibilidades. A seguir damos alguns exemplos de circuitos e cálculos. Mais informações podem ser obtidas no nosso livro *Fórmulas e Cálculos para Eletrônica – Volume 2*.

A figura 210 mostra uma configuração que é considerada a mais simples para um separador de agudos para um tweeter e que já vimos anteriormente. O capacitor usado deve ser do tipo despolarizado ou ainda dois eletrolíticos em oposição. No caso dos dois eletrolíticos a capacitância de cada um deve ser o dobro do valor calculado (ver capacitores em série).

### 8.1.1 – Fórmula para divisores de dois canais

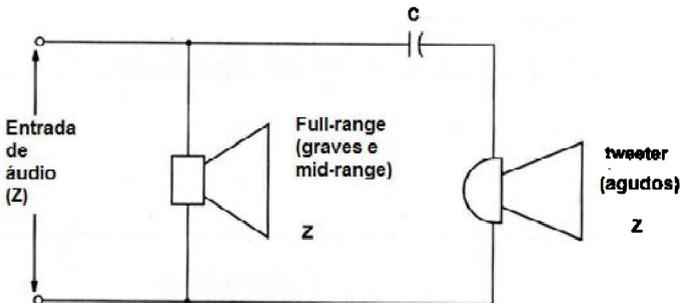


Figura 210 – Filtro de dois canais

## **Fórmula 1**

### **6 dB por oitava – 2 canais**

$$C = \frac{2}{\pi \times f \times Z}$$

#### **Onde:**

C é o valor em farads (F)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância do alto-falante em ohms ( $\Omega$ )

$\pi$  é a constante 3,1416

#### **Exemplo de aplicação:**

Determine a capacitância a ser usada no circuito de um divisor de dois canais quando são usados alto-falantes de 8 ohms e a frequência de crossover for de 2 kHz.

Dados:

Z = 8 ohms

F = 2 000 Hz

C = ?

Usando a fórmula 1:

$$C = \frac{2}{3,14 \times 2\,000 \times 8}$$

$$C = \frac{2}{50\,240}$$

$$C = 0,0000398\,F$$

$$C = 39,8\,uF$$

Pode ser usado um capacitor de 40 uF ou mesmo 47 uF que é o valor comercial mais próximo.

## Fórmula derivada

### Fórmula 2

Calculo de capacitância em microfarads

$$C = \frac{2 \times 10^6}{\pi \times f \times Z}$$

### Onde:

C é a capacitância em microfarads (uF)

F é a frequência de crossover em hertz

Z é a impedância do alto-falante em ohms ( $\Omega$ )

$\pi$  é a constante 3,14

### Divisor para tweeter de 6 dB por oitava (2)

As fórmulas seguintes são usadas no circuito divisor mostrado na figura 211. A diferença em relação ao circuito anterior está no uso de um indutor. O indutor e o capacitor são calculados pelas fórmulas dadas a seguir.

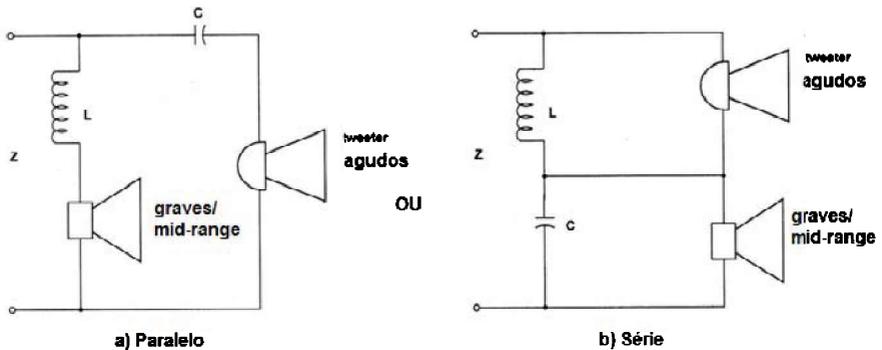


Figura 211 – Circuito para o filtro

**Fórmula 1**

Capacitor

$$C = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times Z}$$

**Onde:**

C é a capacitância do capacitor em microfarads (uF)

F é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

**Fórmula 2**

Indutor

$$L = \frac{Z \times 10^3}{2 \times \pi \times f}$$

**Onde:**

L é a indutância em milihenry (mH)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

F é a frequência de crossover em hertz (Hz)

n é a constante 3,1416

**Divisor de dois canais com 12 dB por oitava**

As fórmulas seguintes são usadas para determinar as indutâncias e as capacitâncias a serem usadas no filtro mostrado na figura 212. Os valores dos componentes são determinados a partir da impedância dos alto-falantes e da frequência de crossover do tweeter indicada pelo fabricante.

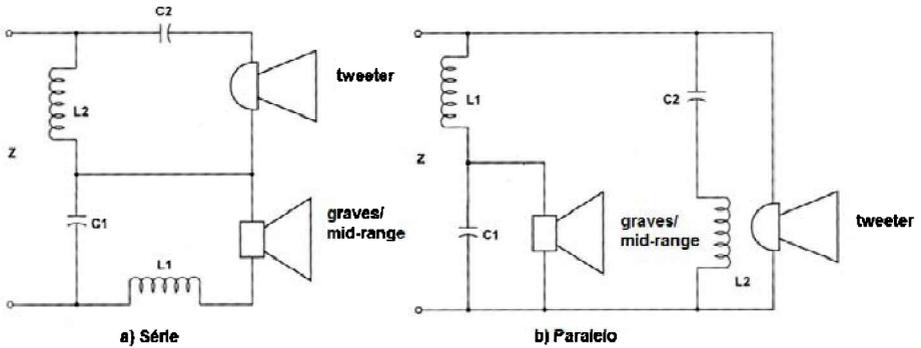


Figura 212 – Filtro de 12 dB por oitava

### Fórmula 1

Capacitor C1

$$C1 = \frac{1,6 \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times Z}$$

**Onde:**

C1 é a capacitância do capacitor em microfarads (uF)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes

n é a constante 3,1416

### Fórmula 2

Capacitor C2

$$C2 = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times Z}$$

**Onde:**

C2 é a capacitância do capacitor C2 em microfarads (uF)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms (Ω)

n é a constante 3,1416

**Fórmula 3**

Indutor L1

$$L1 = \frac{Z \times 10^3}{2 \times \pi \times f}$$

**Onde:**

L1 é a indutância do indutor L1 em milihenry (mH)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

**Divisor em PI de dois canais com 18 dB/oitava de separação**

As formuladas dadas a seguir são válidas para o circuito da figura 213.

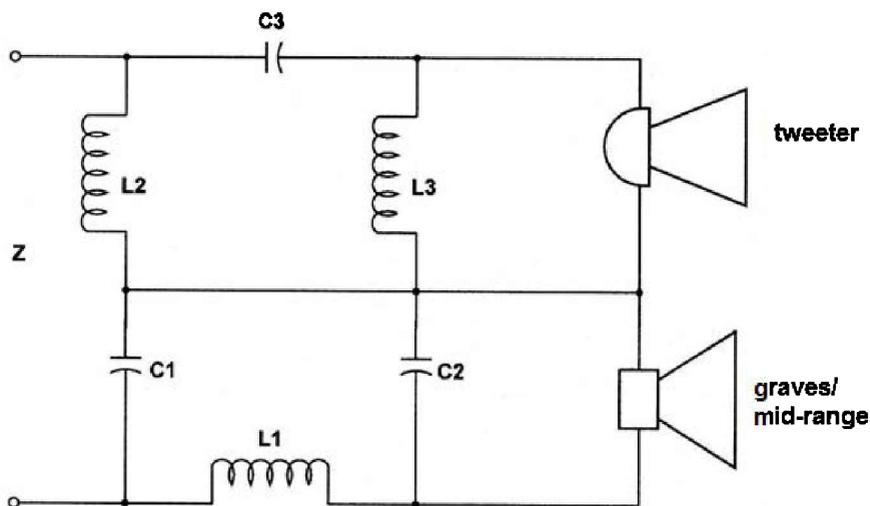


Figura 213 – Filtro de 18 dB por oitava

**Fórmula 1**

Cálculo de C1

$$C1 = \frac{1,6 \times 10^6}{2 \times \pi \times f \times Z}$$

### Fórmula 2

Cálculo de C2

$$C2 = \frac{10^6}{2 \times \pi \times f \times Z}$$

### Fórmula 3

Cálculo de C3

$$C3 = \frac{10^6}{4 \times \pi \times f \times Z}$$

### Onde:

C1, C2 e C3 são as capacitâncias dos capacitores em microfarads (uF)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

### Fórmula 4

Indutor L1:

$$L1 = \frac{Z \times 10^3}{\pi \times f}$$

### Fórmula 5

Indutor L2

$$L2 = \frac{Z \times 10^3}{3,2 \times \pi \times f}$$

**Fórmula 6**

Indutor L3

$$L3 = \frac{Z \times 10^3}{2 \times \pi \times f}$$

**Onde:**

L1, L2, L3 são as indutâncias dos indutores em mH

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

F é a frequência de crossover em hertz (Hz)

n é a constante 3,1416

**Divisor em T de dois canais com separação de 18 dB por oitava**

As formulas dadas a seguir servem para calcular os componentes de um filtro separador de frequências ou divisor de frequências em Pi, conforme mostrado na figura 214.

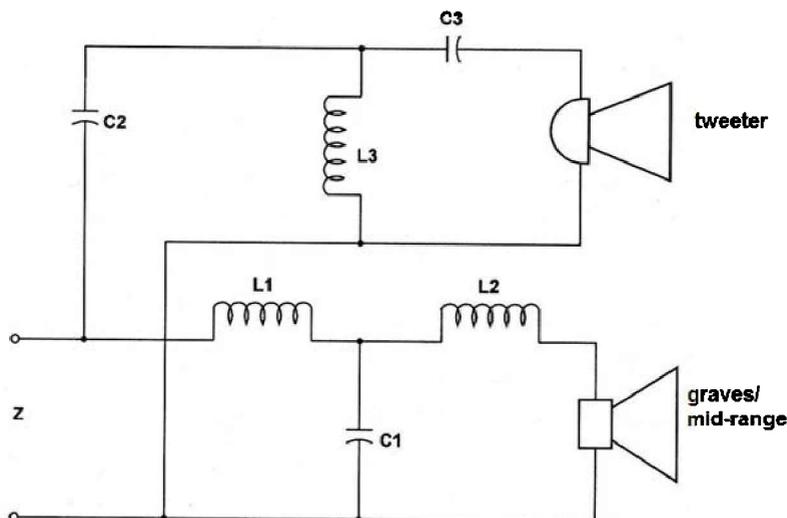


Figura 214 – Divisor em T

**Fórmula 1**

Cálculo de C1

$$C1 = \frac{10^6}{\pi x f x Z}$$

**Fórmula 2**

Cálculo de C2

$$C2 = \frac{10^6}{3,2 x \pi x f x Z}$$

**Fórmula 3**

Cálculo de C3

$$C3 = \frac{10^6}{2 x \pi x f x Z}$$

**Onde:**

C1, C2 e C3 são as capacitâncias dos capacitores em microfarads (uF)

f é a frequência de crossover em hertz (Hz)

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

**Fórmula 4**

Cálculo de L1

$$L1 = \frac{Z x 10^3}{\pi x f}$$

**Fórmula 5**

Cálculo de L2

$$L2 = \frac{Z x 10^3}{3,2 x \pi x f}$$

**Fórmula 6**

Cálculo de L3

$$L3 = \frac{Z \times 10^3}{4 \times \pi \times f}$$

**Onde:**

L1, L2, L3 são as indutâncias dos indutores em mH

Z é a impedância dos alto-falantes em ohms ( $\Omega$ )

F é a frequência de crossover em hertz (Hz)

n é a constante 3,1416

**8.1.2 - Fórmulas para Divisores de frequência de 3 canais**

No projeto de um divisor de frequências para três alto-falantes, devem ser utilizadas quatro frequências como referências para os cálculos, mostradas na figura abaixo. Estas frequências serão utilizadas nos cálculos pelas fórmulas que daremos a se seguir.

A figura 215 mostra as faixas de frequências selecionadas.

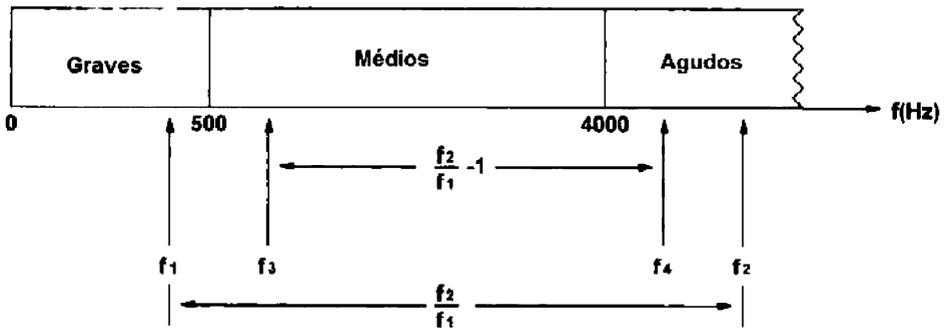


Figura 215 – Faixas usadas nos cálculos

**Fórmula 1**

Relação de banda de frequências e relação de projeto

$$\frac{f4}{f3} = \frac{f2}{f1} - 1$$

**Fórmula 2**

Cálculo de f3

$$f3 = \sqrt{\frac{f1 \times f2}{\frac{f2}{f1} - 1}}$$

**Fórmula 3**

Calculando f4

$$f4 = f3 \times \left( \frac{f2}{f1} - 1 \right)$$

**Onde:**

f1 é a frequência menor de crossover (graves para médios) em hertz (Hz)

f2 é a frequência maior de crossover (médios para agudos) em hertz (Hz)

f3 é a frequência menor de projeto em hertz (Hz)

f4 é a frequência maior de projeto em hertz (Hz)

f1/f2 é a relação de banda de frequência

f4/f3 é a relação de projeto

Num cálculo típico f1 está em torno de 500 Hz e f2 em torno de 4 000 Hz, Estes correspondem às transições de faixas comuns de graves para médios e de médios para agudos.

**Divisor de 3 canais com 6 dB de separação tipo série**

As fórmulas dadas a seguir são usadas para calcular as indutâncias e capacitâncias do filtro mostrado na figura 216.

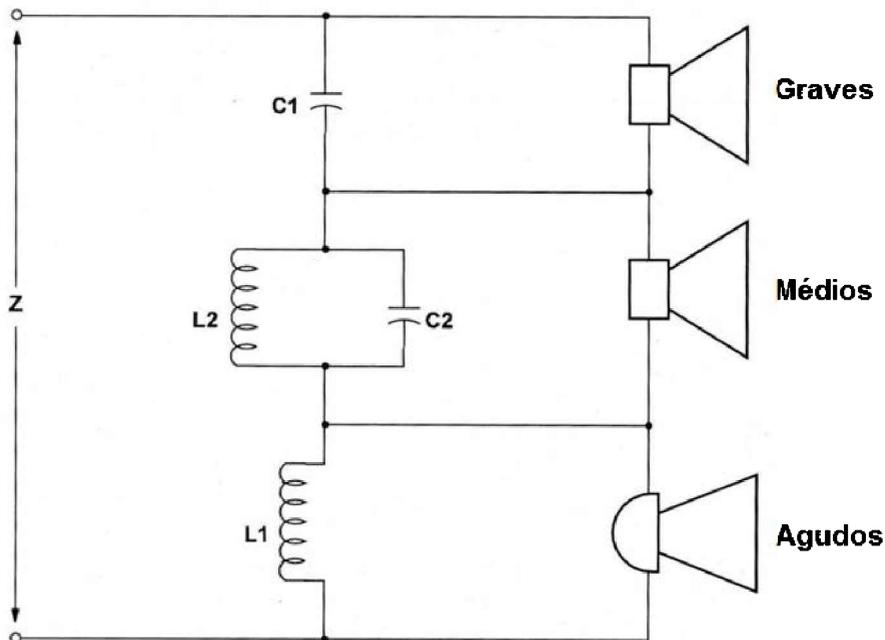


Figura 216 – Divisor de 6 dB para 3 canais

### Fórmula 1

Capacitor C1

$$C1 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times 2 \times Z}$$

### Fórmula 2

Capacitor C2

$$C2 = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times 4 \times Z}$$

### Fórmula 3

Indutor L1

$$L1 = \frac{Z}{2 \times \pi \times f \times 1}$$

**Fórmula 4**

Indutor L2

$$L2 = \frac{Z}{2 \times \pi \times f3}$$

**Onde:**

C1 e C2 são as capacitâncias dos capacitores em microfarads (uF)

L1 e L2 são as indutâncias dos indutores em milihenry (mH)

f1, f2, f3 e f4 – são as frequências dadas pela fórmula 203 em hertz (Hz)

Z é a impedância do sistema em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

**Divisor de 3 canais com 6 dB oitava tipo paralelo**

As fórmulas dadas a seguir são válidas para o cálculo dos capacitores e indutores do filtro separador ou filtro divisor da figura 217.

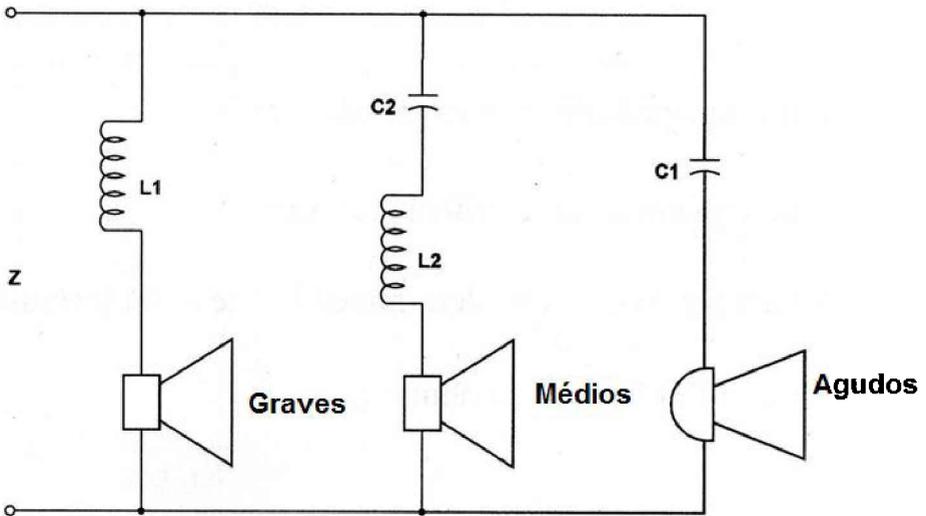


Figura 217 – Divisor de 6 dB paralelo

**Fórmula 1**

Cálculo de C1

$$C1 = \frac{1}{2 \times \pi \times f2 \times Z}$$

**Fórmula 2**

Cálculo de C2

$$C2 = \frac{1}{2 \times \pi \times f3 \times Z}$$

**Fórmula 3**

Cálculo de L1

$$L1 = \frac{Z}{2 \times \pi \times f1}$$

**Fórmula 4**

Cálculo de L2

$$L2 = \frac{Z}{2 \times \pi \times f4}$$

**Onde:**

C1 e C2 são as capacitâncias dos capacitores em microfarads (uF)

L1 e L2 são as indutâncias dos indutores em milihenry (mH)

f1, f2, f3 e f4 – são as frequências dadas pela fórmula 203 em hertz (Hz)

Z é a impedância do sistema em ohms ( $\Omega$ )

n é a constante 3,1416

**Outros filtros**

Mais filtros com suas fórmulas podem ser encontrados no nosso livro Fórmulas e Calculos Para-Eletrônica - Vol 2.

## 8.2 - A fórmula de Wheeler

Para calcular indutâncias na faixa de milihery (mH), como os usados em filtros divisores de frequências para alto-falantes, uma fórmula de grande utilidade é a criada por Wheeler. Neste artigo mostramos como usá-la.

A fórmula de Wheeler permite calcular com boa precisão indutância na faixa de microhenry a algumas dezenas de milihenrys, funcionando bem quando as dimensões da bobina, dadas por a, b e c na figura 218 têm a mesma ordem.

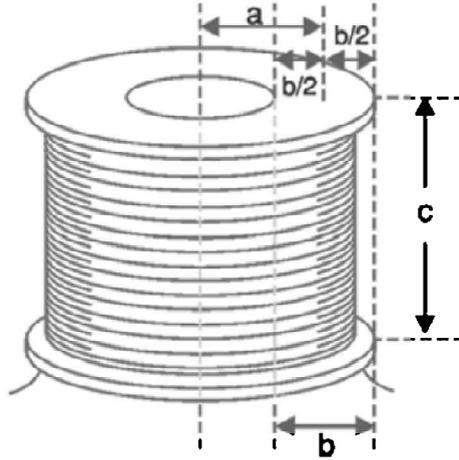


Figura 218 – As dimensões usadas nos cálculos

A fórmula de Wheeler é:

Fórmula 1

$$L = \frac{0,315 \times a^2 \times n^2}{6a + 9b + 10c}$$

Onde: L é a indutância da bobina em microhenry ( $\mu\text{H}$ )

a, b e c são as dimensões da bobina em centímetros (cm)

n é o número de espiras

### Fórmulas Derivadas:

Evidentemente, na maioria dos casos, o que se deseja é calcular o número de espiras e dimensões para uma determinada indutância. Para isso podem ser usadas as seguintes fórmulas:

**Fórmula 2**

Número de espiras:

$$n = \sqrt{\frac{Lx(6a + 9b + 10c)}{0,315x a^2}}$$

Onde: n é o número de espiras

L é a indutância em microhenry ( $\mu\text{H}$ )

a,b e c são as dimensões da bobina em centímetros (cm)

**Exemplo de aplicação:**

Quantas espiras devem ser enroladas para se obter uma bobina de 5 mH onde as dimensões a, b e c são respectivamente 3,0 ; 2,0 e 2,0 cm?

Dados: L = 5 mH = 5 000  $\mu\text{H}$ 

a = 3 cm

b = 2 cm

c = 2 cm

n = ?

Usando a fórmula 209.2:

$$n = \sqrt{\frac{5000x(6x3 + 9x2 + 10x2)}{0.315x3^2}}$$

$$n = \sqrt{\frac{5000x(18 + 18 + 20)}{0.315x9}}$$

$$n = \sqrt{\frac{5000x56}{2.835}}$$

$$n = \sqrt{\frac{280000}{2.835}}$$

$$n = \sqrt{98765}$$

$$n = 314$$

O número de espiras é 314.

Veja que a espessura do fio a ser usado deve ser agora determinada de acordo com o espaço a ser preenchido na forma e também pela intensidade da corrente (ou potência) que a bobina deve manusear.

## Precisão

A fórmula de Wheeler é precisa apenas quando as dimensões  $a$ ,  $b$  e  $c$  têm valores próximos.

## 8.3 - Filtros Ativos

Os sinais correspondentes aos sons graves, médios e agudos também podem ser separados antes dos amplificadores com a utilização de filtros ativos.

Neste caso, os filtros trabalharão com sinais de pequena intensidades e devem ter características de acordo com os amplificadores.

Na figura 219 temos um circuito deste tipo.

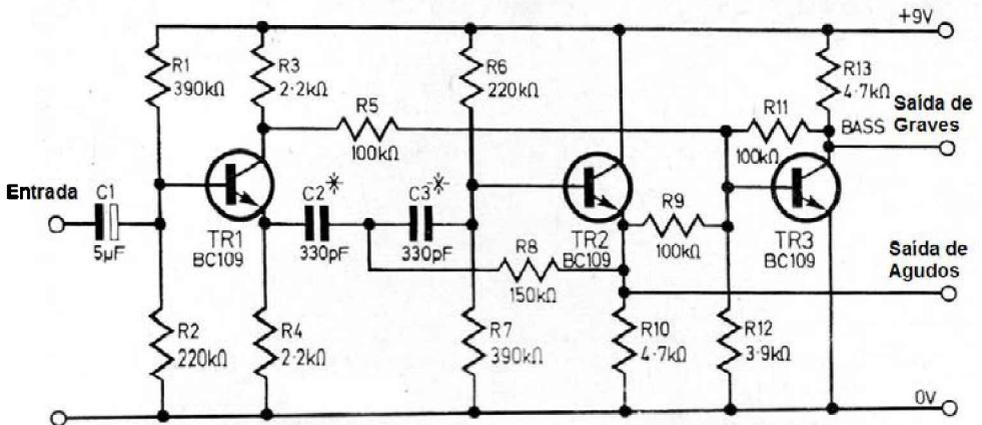


Figura 219 – Um filtro ativo

### Componentes

Este filtro podem ser implementado com transistores BC549 que são mais comuns no nosso mercado.

**Questionário:**

1 - Com a utilização de um filtro separador com dois alto-falantes de 4 ohms (full-range e tweeter) a impedância total será:

- a) 2 ohms
- b) 4 ohms
- c) 8 ohms
- d) 16 ohms

2 - Os filtros divisores se baseiam nas propriedades de que componentes?

- a) Diodos
- b) Capacitores e resistores
- c) Capacitores e indutores
- d) Transformadores

3 - Para usar um tweeter com um alto-falante comum num sistema devemos usar um filtro divisor de:

- a) 1 canal
- b) 2 canais
- c) 3 canais
- d) Depende da impedância dos alto falantes

4 - Os filtros ativos são ligados:

- a) Entre a saída do amplificador e os alto-falantes
- b) Entre a fonte de sinal e a entrada do amplificador
- c) Depois dos equalizadores
- d) Em qualquer lugar

## **Lição 9 - Distorção**

Ocorre a distorção de um sinal quando obtemos na saída de um circuito uma forma de onda diferente da original.

Este assunto será analisado nesta lição.

### **9.1 - Distorção**

Diversas são as causas para as distorções como, por exemplo, a excitação excessiva do circuito cortando os picos de um sinal, a deformação pelas características dos componentes usados no circuito e até mesmo os tempos que os sinais levam para atravessar um circuito e chegar ao sistema de alto-falantes.

As distorções são medidas em termos de porcentagem.

Perceber a distorção, entretanto, depende das pessoas, sendo sua avaliação bastante subjetiva.

No geral, dizem que uma pessoa normal não consegue perceber a distorção de um sinal se ela for menor que 1%, mas existem pessoas de ouvidos mais apurados que conseguem perceber distorções menores.

Veremos a seguir alguns tipos de distorções que podem afetar a qualidade de um som.

#### **9.1.1 - Distorção por Cruzamento (Crossover)**

Os transistores bipolares, BJT, Darlington e outros equivalentes operam de um modo diferente das válvulas e outros componentes ativos.

Estes componentes apareceram em 1948, mas só se tornaram populares em amplificadores depois de 1955 quando os tipos de maiores potências se tornaram acessíveis.

As configurações iniciais foram muito semelhantes às empregadas nos circuitos com válvulas conforme podemos ver por uma etapa de saída mostrada na figura 3, mas logo surgiram as configurações sem transformadores (Simetria Complementar e Quasi-Complementar) como as mostradas na figura 220.

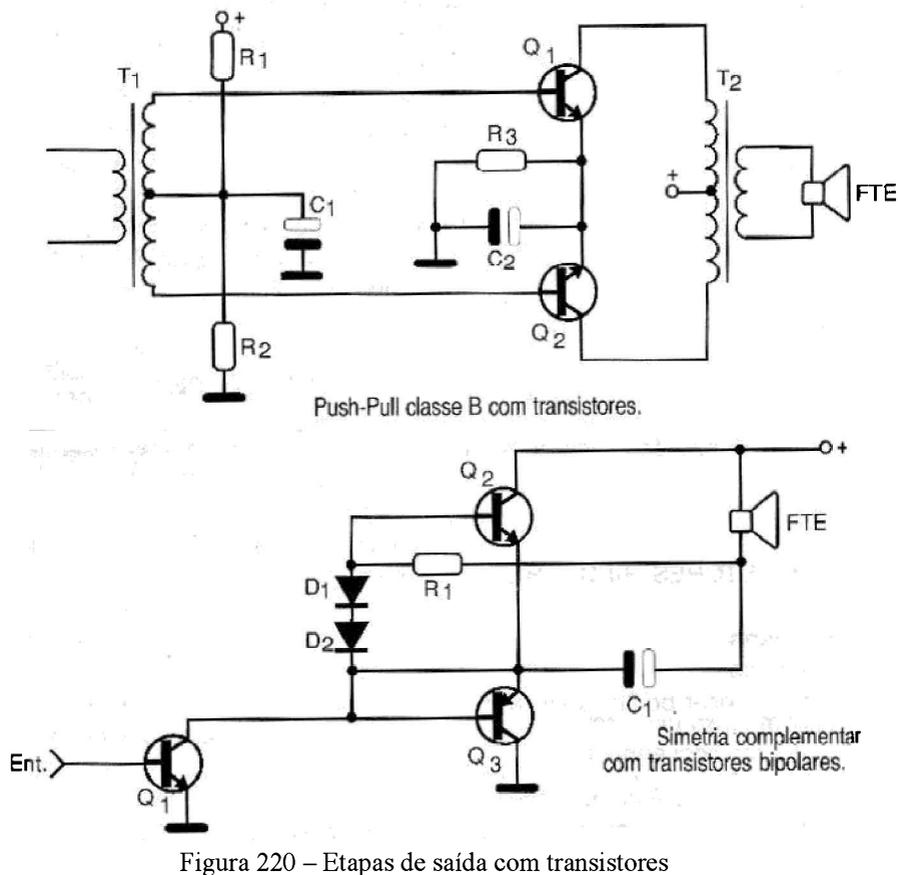


Figura 220 – Etapas de saída com transistores

No entanto, o transistor funciona de um modo diferente da válvula. No transistor temos uma corrente que flui entre o coletor e o emissor controlada por uma corrente de base (na válvula o que temos é uma tensão).

Assim, enquanto o transistor é um típico amplificador de corrente a válvula é um amplificador de tensão.

Mas, o problema mais grave é que os transistores só começam a conduzir quando uma tensão de pelo menos 0,6 V é aplicada na sua base.

Isso significa que na faixa de 0 a 0,6 V o transistor como amplificador apresenta uma "descontinuidade" em sua linearidade que afeta a fidelidade de um sinal amplificado, conforme mostra a figura 221.

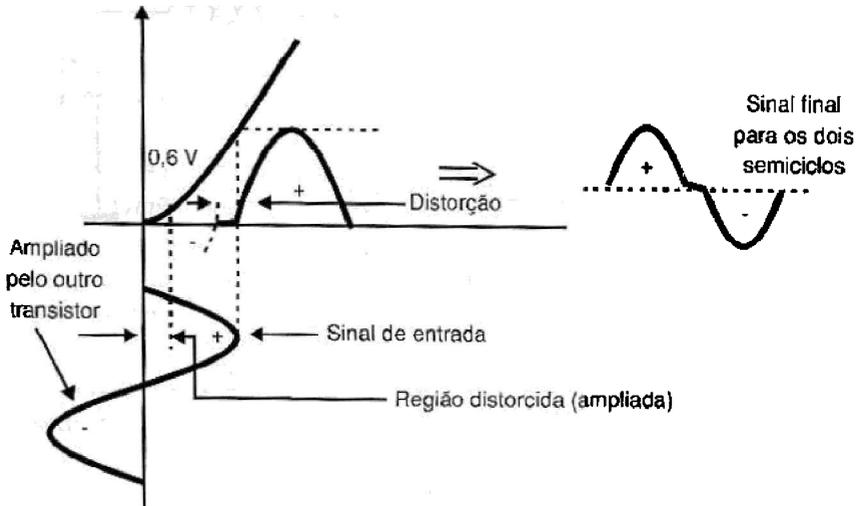


Figura 221 – O início da condução do transistor afeta a forma de onda do sinal

No entanto, projetos especiais bem feitos podem reduzir este efeito a um mínimo e os amplificadores transistorizados podem fornecer boas potências com excelente qualidade de som.

### 9.1.2 – Distorção de fase

A qualidade de um sistema de som não depende apenas do amplificador. As caixas acústicas também são elemento fundamental no processo de obtenção do melhor do som e um ponto importante que é pouco comentado pelos usuários entendidos é a distorção de fase.

Na verdade, poucos sabem exatamente o que é isso e não têm condições de avaliá-la diante das especificações de um equipamento.

#### Fase

Se o leitor não sabe exatamente o que significa fase de um sinal, sugerimos consultar nosso Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica e Analógica.

Os sons têm uma velocidade de propagação no ar em condições normais da ordem de 340 metros por segundo.

Este valor, quando associado às distâncias que separam uma caixa acústica do ouvido do leitor e aos sons de frequências mais elevadas

que podemos ouvir pode significar alguns efeitos muito importantes para a qualidade de reprodução.

O que ocorre, é que analisando uma fonte sonora extensa de som como, por exemplo, uma caixa que use dois ou mais alto-falantes, conforme mostra a figura 222, vemos que os sons emitidos por um e por outro alto-falante podem chegar ao ouvido de uma pessoa em instantes suficientemente diferentes para ocorrer um fenômeno de interferência.

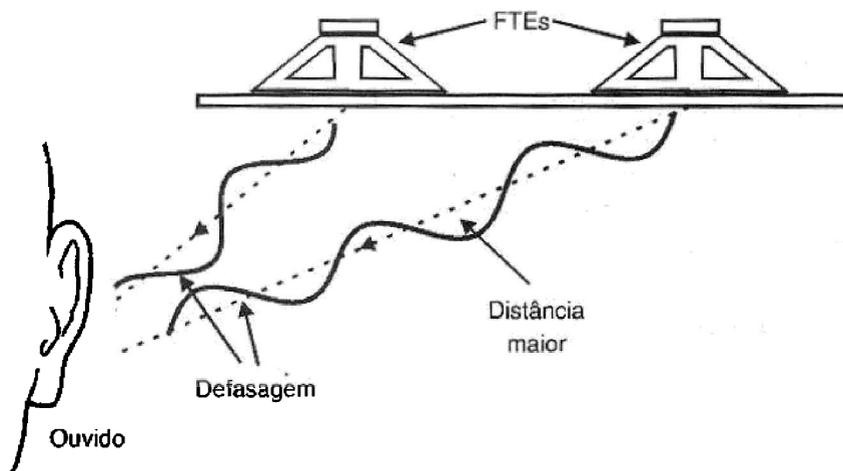


Figura 222 – Os sons demoram tempos diferentes para chegar ao ouvido

O resultado disso pode ser bastante desagradável para o ouvido ocorrendo então o que se denomina distorção de fase.

Expliquemos melhor: num sistema convencional temos alto-falantes diferentes para a reprodução dos sons graves, médios e agudos conforme mostra a figura 223.

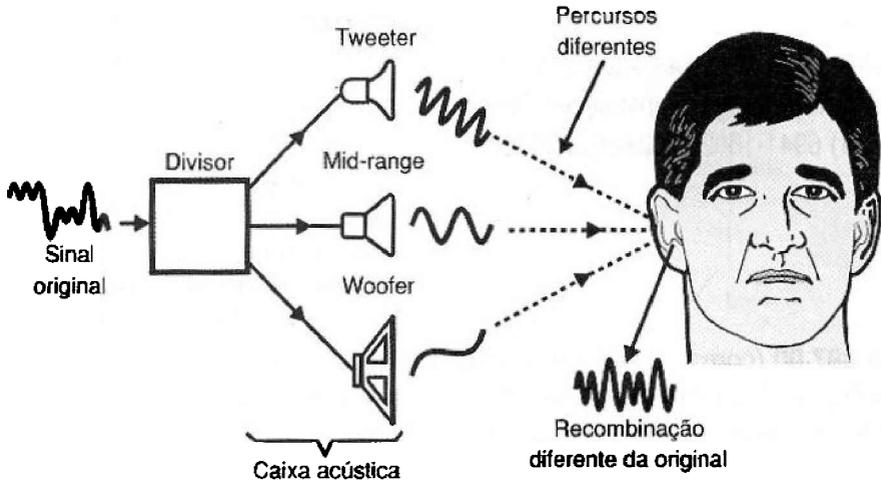


Figura 223 – Tempos diferentes para os sons de diversos alto-falantes

Como os alto-falantes estão separados, os sinais elétricos correspondentes às frequências separadas chegam ao mesmo tempo aos alto-falantes que fazem a reprodução também ao mesmo tempo.

No entanto, os sons de cada um chegam aos nossos ouvidos em tempos levemente diferentes, ou seja, levemente defasados, tanto mais quanto mais separados estiverem nas caixas.

Os sinais recombinaos nos nossos ouvidos não levam à forma de onda original que saiu do sistema amplificador e que era a gravada num CD ou fita.

A defasagem na recombinação altera a principal característica de um som que é o timbre. Conforme sabemos o timbre é dado pela forma de onda de um sinal sonoro.

O resultado disso é uma pequena distorção que vai depender justamente da posição relativa do ouvinte, conforme mostra a figura 224.

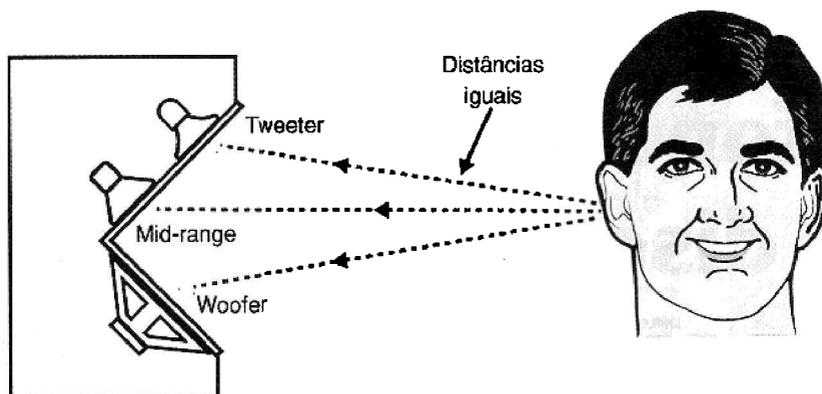


Figura 224 – Eliminando a distorção de fase

As caixas modernas prevêm este efeito com um posicionamento estudado dos alto-falantes de modo a minimizar a eventual distorção que pode ocorrer.

### Manifestação

Demorou algum tempo para que fabricantes de caixas acústicas percebessem que a diferença de tempos em que os sons chegavam aos ouvidos das pessoas podia ser percebida e de modo desagradável.

Uma primeira descrição feita pelos entendidos associava a distorção de fase à impressão de que não havia "transparência" da reprodução, ou seja, tinha-se a impressão de um som "preso" no interior da caixa.

### Termos

É interessante observar que muitos termos usados pelos especialistas para definir os sons podem parecer sem significado para os que não são do ramo, mas ao se falar num som transparente para um especialista ele saberá exatamente do que se trata!

Mas, o problema mais grave ocorre na reprodução dos sons que tenham transições muito rápidas de intensidade como, por exemplo, as que ocorrem nas batidas secas dos instrumentos de percussão.

### 9.1.3 – Eliminando a Distorção de Fase

A utilização de uma fonte sonora a menos extensa possível de modo a eliminar diferentes trajetórias para sons de frequências diferentes seria uma primeira solução importante para a eliminação do problema.

O uso de alto-falantes coaxiais em que temos o tweeter (alto-falante de agudos) posicionado no mesmo eixo de reprodução do woofer e mid-range (ou extended range) conforme mostra a figura 225, é uma solução importante para a eliminação da distorção de fase.

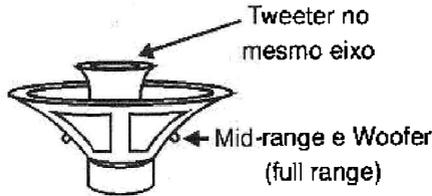


Figura 224 – Alto-falantes axiais

Outra possibilidade bastante interessante seria a inclusão de amplificadores separados para os sinais de graves, médios e agudos, mas com linhas de retardo incluídas de modo a compensar as diferenças de fase com que o som poderia chegar ao ouvinte conforme mostra a figura 226.

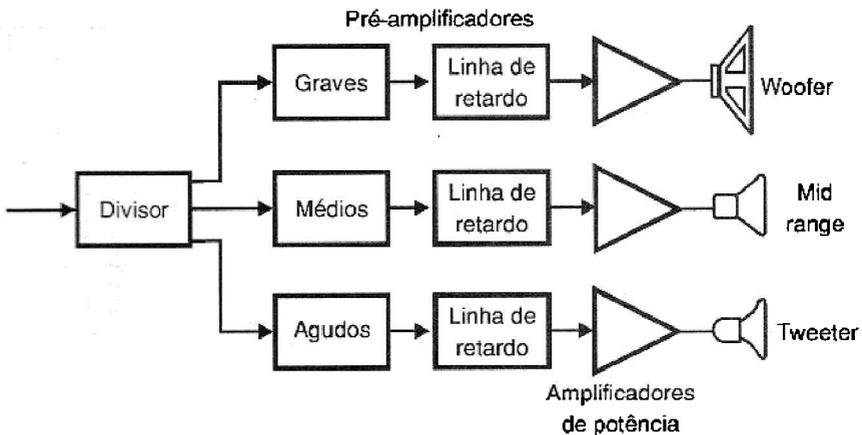


Figura 226 – Usando linhas de retardo

A Bang & Olufsen e outros fabricantes adotaram uma disposição geométrica de alto-falantes em suas caixas acústicas de alguns anos passados. Estes alto-falantes são posicionados de modo a manter a

mesma distância até o ouvido das pessoas conforme mostra a figura 227.

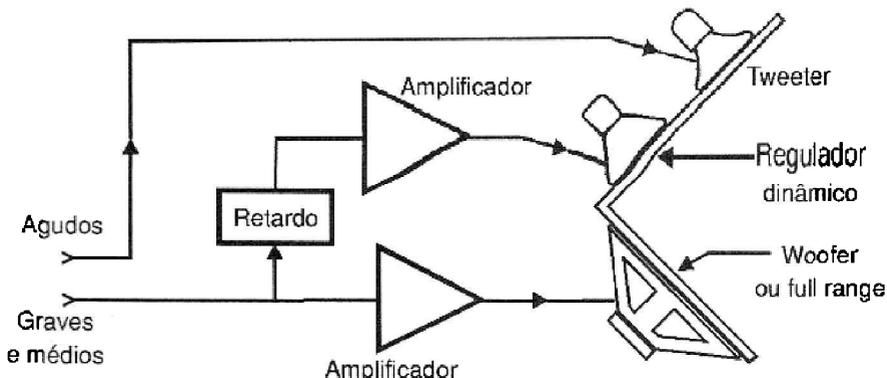


Figura 227 – Solução comercial

Veja que no sistema mostrado na figura 6 temos a possibilidade de se agregar um alto-falante regulador dinâmico, acoplado a um filtro que compensa as variações de fase que podem ocorrer com os sinais.

## 9.2 - Distorção Harmônica

Um tipo de distorção que tem grande importância quando tratamos de equipamentos de som é a distorção harmônica.

Especifica-se assim a Distorção Harmônica Total ou Total Harmonic Distortion – (THD) como mais um parâmetro que serve para avaliar a qualidade de um equipamento.

O que ocorre é que, conforme já estudamos neste curso, um som puro consiste num sinal senoidal, constando de uma frequência fundamental e nenhuma harmônica.

No entanto, se esse sinal for deformado, aparecem harmônicas cujas intensidades serão tanto maiores quanto maior for a deformação. Já explicamos que Fourier mostra que um sinal de qualquer forma de onda pode ser decomposto num sinal fundamental e suas harmônicas.

Dispositivos não lineares de um circuito, como os transistores que vimos ao estudar a distorção por cruzamento (crossover) fazem com que ocorra uma deformação num sinal senoidal que produzirá harmônicas cujas intensidades serão tanto maiores quanto maior for a deformação.

Assim, podemos especificar esta distorção causada pela não linearidade (crossover) dos componentes como distorção harmônica,

indicando sob a forma de uma porcentagem quanto do sinal original passa a compor as harmônicas geradas na amplificação do sinal.

Temos então a THD de um amplificador como a porcentagem do sinal que passa a estar presente na forma de harmônicas e não no sinal original.

Na figura 228 temos um exemplo de como isso ocorre.

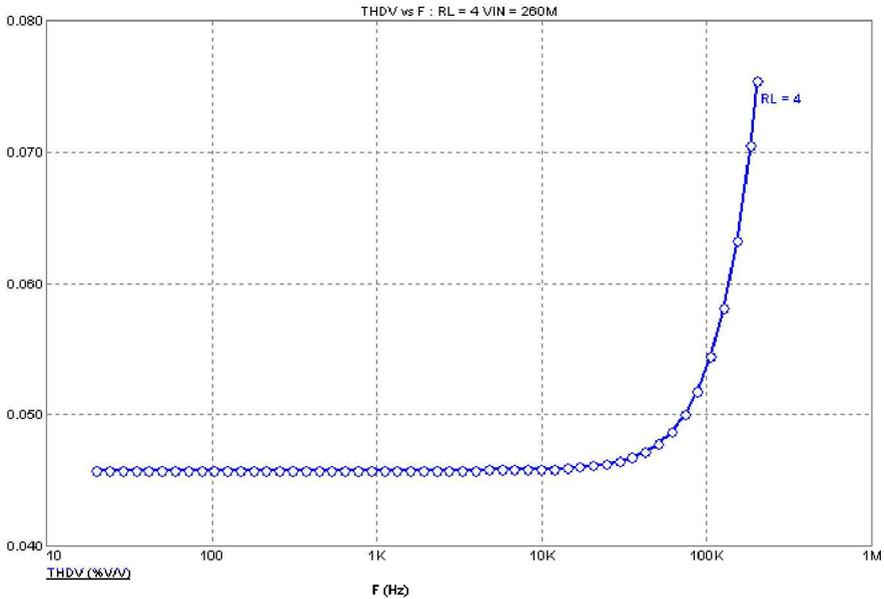


Figura 228 – Distorção harmônica em função da potência

Por este gráfico vemos que a distorção harmônica de um amplificador comum aumenta muito nas altas frequências.

É por este motivo que ao projetar um amplificador devemos cuidar para que dentro da faixa audível ele seja linear, e que a distorção eventualmente só ocorra numa faixa em que não podemos ouvir.

**Questionário:**

1 - A distorção ocorre quando:

- a) A potência de saída de um amplificador é baixa
- b) O sinal de saída tem frequência diferente do sinal de entrada
- c) O sinal de saída tem pequena intensidade
- d) O sinal de saída tem forma de onda diferente do sinal de entrada

2 - A não linearidade dos transistores causa que tipo de problema num amplificador?

- a) Perda de potência
- b) Distorção por crossover
- c) Alteração da curva de resposta
- d) Descasamento de impedância

3 - A distorção de fase tem como causa:

- a) A não linearidade dos amplificadores
- b) A condução dos transistores
- c) O posicionamento dos alto-falantes
- d) A impedância dos alto-falantes

## Lição 10 - Fontes de Programas

### Gravadores de Fita e Toca Discos

Os toca discos consistem em fontes de programa que basicamente possuem um transdutor que lê as ondulações de um disco de vinil que contém a gravação.

Assim, nos toca-discos ou cambiadores não existem circuitos ativos e o próprio transdutor (pick-up ou fonocaptor, consiste na fonte de programa.

Já estudamos os fonocaptadores e os discos nas lições anteriores, por isso não precisamos voltar ao assunto de forma mais profunda.

### 10.1 - Os primeiros gravadores

Para os gravadores de fita, se bem que já tenhamos estudado as cabeças de gravação e leitura em lições anteriores, será interessante detalharmos mais o seu princípio de funcionamento.

Se bem que os gravadores de fita não sejam fontes modernas de programas, muitos ainda usam este tipo de equipamento na recuperação de mídias antigas ou mesmo em edição, já que em alguns casos, podemos obter deles melhor qualidade de som até mesmo quando comparamos a mídias digitais modernas.

Um aparelho de uso comum e que tem um princípio de funcionamento pouco conhecido é o gravador de fita, do tipo usado em estúdios, toca-fitas antigos de carro, em secretárias eletrônicas e em walkman também hoje fora de uso.

Os inventores desde há muito tempo tiveram a ideia de registrar os sons da mesma forma que a imagem pode ser registrada numa fotografia. Um desses pioneiros foi Thomas Alva Edison que, com seu fonógrafo conseguiu "gravar" sons num cilindro de carvão reproduzindo-os depois com uma agulha.

#### **Landell de Moura (1861-1928)**

Segundo sabemos, documentos do grande inventor brasileiro Roberto Landel de Moura, mostram que ele também teria inventado o gravador, e isso antes de Edison e outros que levaram a fama. A imagem de Landel está sendo resgatada com o devido valor que esse inventor teve sendo reconhecido.

O método de Edison era muito simples: o microfone era simplesmente uma corneta que terminava numa membrana a qual movimentava uma agulha que encostava num cilindro de carvão que deveria girar numa certa velocidade constante para registrar o som.

### Mídias modernas

Mesmo não sendo modernos, sempre é bom saber como estes equipamentos funcionam. O bom profissional deve estar preparado para manusear qualquer equipamento, independente de sua tecnologia, por mais antiga que seja. E, além disso, sempre existe a possibilidade de se recuperar gravações antigas passando para mídias modernas.

Com o movimento, a agulha registrava no cilindro uma trilha tortuosa que nada mais era do que um "retrato" do som captado.

Terminada a gravação, o cilindro era girado na mesma velocidade original com que se registrou o som. Com isso, a agulha, agora percorrendo de modo forçado as trilhas gravadas, vibrava e transmitia essas vibrações membrana. O resultado era a vibração da membrana reproduzindo o som original, conforme mostra a figura 229.

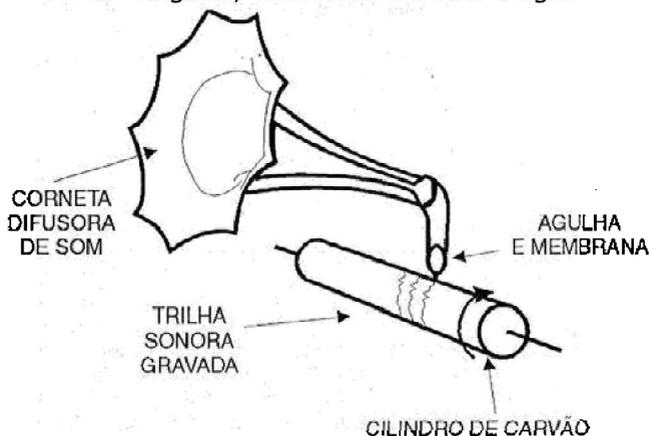


Figura 229 – Um gravador primitivo

Outro pioneiro da gravação de sons, na mesma época, entre 1877 e 1887 foi Emile Berliner.

**Emile Berlier**

Nasceu em Montreal - Canadá tendo inventado um processo de gravação que utilizou num estúdio em 1900 originando o disco e o gramofone.



O aperfeiçoamento mais importante para este aparelho foi a troca do cilindro por um disco de cera, mas mesmo assim, durante muito tempo o sistema era totalmente mecânico: não existia eletrônica. As trilhas tortuosas que registravam o passaram a ser gravadas nas duas faces de um disco.

Desta forma, os aparelhos deste tipo, denominado "gramofones", como o patenteado por Emile Berlier, tinham a aparência mostrada na figura 230.

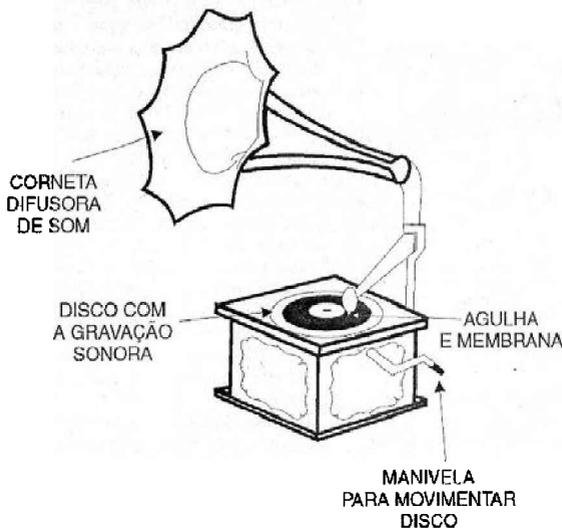


Figura 230 – O gramofone

Uma manivela movimentada o disco ou então servia para dar corda num mecanismo de mola, semelhante ao que encontramos em brinquedos de criança. Uma vez que o disco entrava em movimento, a agulha se apoiava no disco por meio do braço e apoiado no braço havia uma corneta para a reprodução.

Assim, as vibrações da agulha se transmitiam a uma membrana e o som produzido era "aumentado" pela ação da corneta.

Veja que não havia válvulas, transistores ou circuitos integrados neste sistema. Eles ainda não haviam sido inventados.

A possibilidade de se amplificar o som captado pela agulha por meio de dispositivos eletrônicos veio muito tempo depois.

O princípio de funcionamento dos toca-discos modernos ainda se mantém: fazendo com que uma agulha percorra um sulco onde estão registrados na forma de ondulações os sons, podemos reproduzi-los, conforme mostra a figura 231.

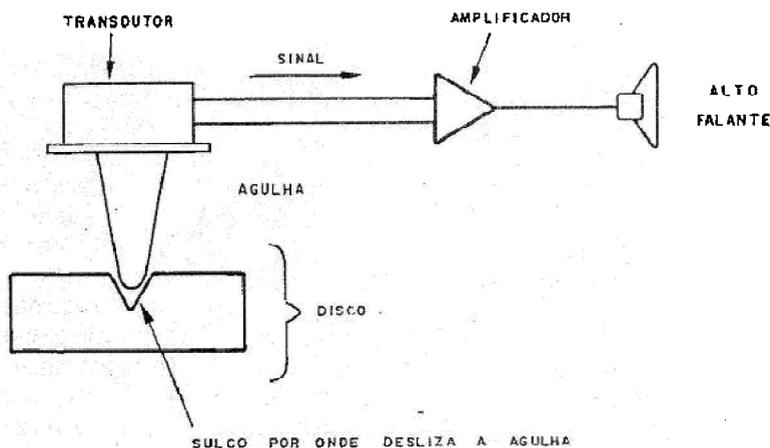


Figura 231 – A gravação em disco

Paralelamente, entretanto, outros pesquisadores trabalharam num modo um pouco diferente de registrar os sons: sem utilizar sulcos ou agulhas, mas de uma forma que envolvesse diretamente a eletricidade, que ainda era uma novidade na época.

Desse trabalho paralelo desenvolveu-se uma linha completamente diferente de dispositivos capazes de registrar sons (e posteriormente imagens) que são os gravadores de fita magnética ou simplesmente, gravadores de fita.

É deles que vamos falar a seguir:

## 10.2 - A Gravação Magnética

Valdemar Poulsen foi um dos responsáveis pela ideia de se gravar sons por meios magnéticos. Suas primeiras experiências foram feitas em 1898 e, sobre elas, ele escreveu:

“Parece ser possível magnetizar um fio em diferentes graus e de tal forma que o som poderia ser registrado nele, quer correndo um eletro-ímã ligado a um microfone e gerando uma corrente, ou então fazendo com que o fio corra nas proximidades de um eletro-ímã ligado a um microfone”.



Valdemar Poulsen (1869 – 1942)

Realmente a ideia tinha fundamentos e após as primeiras experiências, o fio magnetizável foi substituído por uma fita de material magnético.

Quando isso ocorreu, Poulsen já estava consagrado, tendo ganho o Grand Prix da Exposição de Paris de 1900 no qual apresentou o seu “Telegraphone”, que era, na realidade, o primeiro gravador magnético que existiu e foi levado ao conhecimento público. (figura 232)

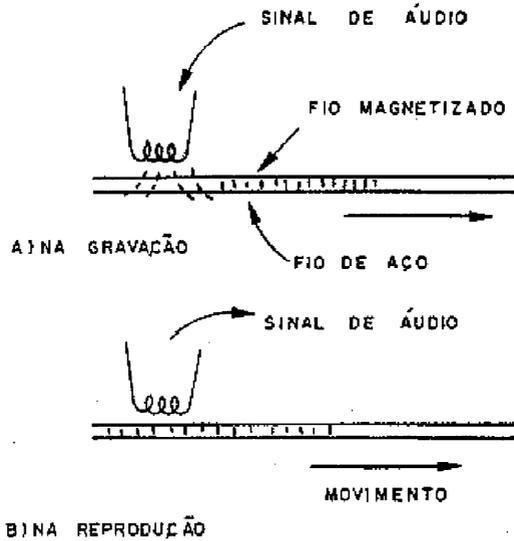


Figura 232 – Gravando sons num fio metálico

Mas, de que modo podemos registrar sons por meio de magnetismo, usando materiais magnéticos como um fio ou uma fita?

Vamos imaginar que tenhamos uma fita recoberta com uma substância magnetizável, à base de ferro ou cromo, por exemplo. Essa substância, na verdade, é formada por milhões de pequenos ímãs microscópicos que estão dispostos de uma forma completamente desordenada de modo que seus campos magnéticos se cancelam, conforme mostra a figura 233.

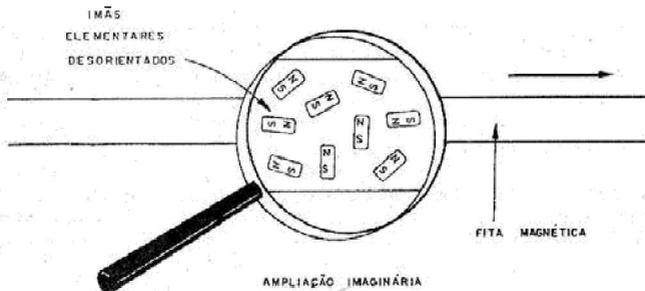


Figura 233 – Uma fita magnetizável

Isso significa que, mesmo sendo formada de uma grande quantidade de pequenos ímãs, esta fita não apresenta, no total, campo magnético algum.

Se pegarmos essa fita e a colocarmos num mecanismo que a movimente diante de uma bobina, poderemos ter uma ação sobre os pequenos ímãs que modifica seu comportamento, ou sua posição.

Vamos supor então que, conforme mostra a figura 234, a bobina seja percorrida por uma corrente que nada mais seja do que um sinal de áudio.

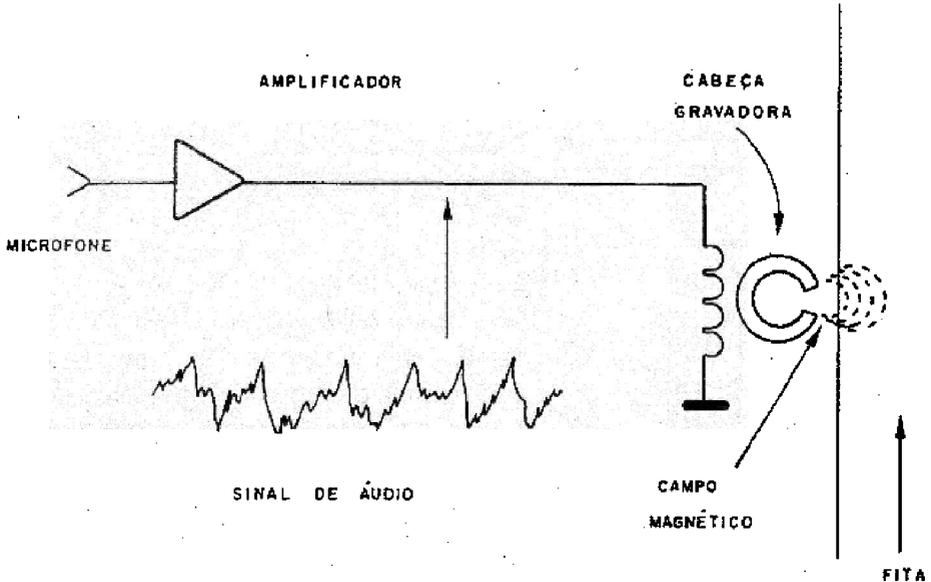


Figura 234 – Registrando os sons

Conforme representado na figura, o sinal de áudio corresponde a variações da intensidade da corrente que, numa determinada frequência se torna mais intensa ou mais fraca e até inverte de sentido.

Ora, ao circular pela bobina, esta corrente produz um campo magnético de características semelhantes, e este campo magnético atua justamente sobre as partículas da fita, mudando-as de orientação.

O que ocorre então é que, à medida que a fita passa diante do eletro-ímã, as partículas se orientam ou se ordenam, colocando-se em posições que justamente vão criar campos magnéticos que retratam o som original, ou seja, a corrente que criou o campo no eletro-ímã, conforme mostra a figura 235.

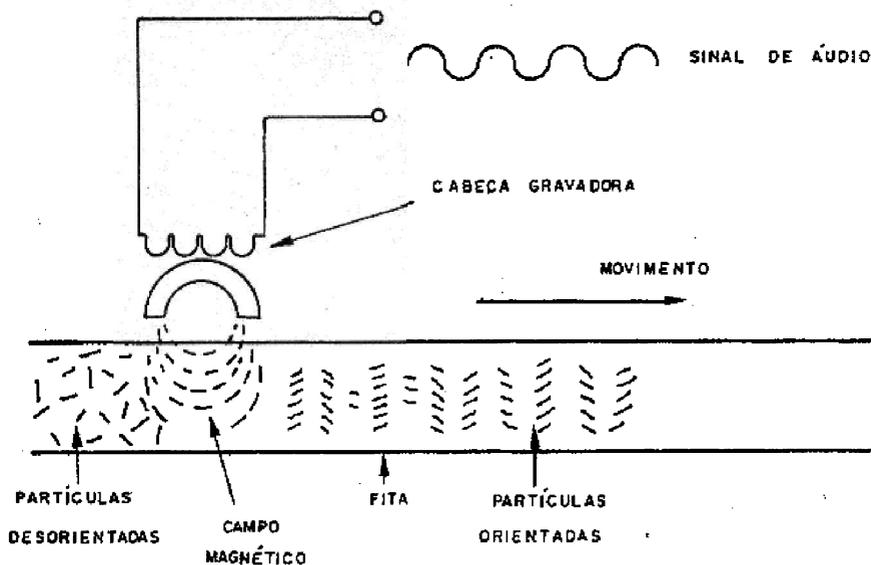


Figura 235 – Lendo os sons gravados

É importante observar que para termos um registro perfeito, que garanta depois a reprodução do som com fidelidade, precisamos observar algumas condições especiais de operação para o sistema.

### Vídeo e digital

Da mesma forma que o sinal aplicado à fita pode ser um som, também pode registrar sinais de vídeo e sinais digitais. Este é o princípio dos gravadores de vídeo-cassete e também dos discos rígidos dos computadores, que em lugar da fita usamos um ou mais discos magnetizáveis.

A primeira condição importante é a escolha da velocidade apropriada para a fita.

Esta velocidade deve ser tal para que haja tempo de registrarmos todas as variações de corrente, inclusive as mais rápidas que correspondem aos sons de altas frequências ou agudos.

Se a velocidade for muito pequena, num sinal de alta frequência, mesmo antes de termos a movimentação de um conjunto de partículas levando-as às posições de registro, a corrente já inverte e sua orientação é desfeita, ou seja, o som não é registrado.

No entanto, uma velocidade de registro muito elevada reduz a duração da fita pois ela "acaba logo". A obtenção de uma relação ideal

entre resposta de frequência e tempo de gravação é, portanto algo que deve ser considerado num gravador.

Muitos gravadores do tipo profissional, como o mostrado na figura 236 possuem diversas velocidades de modo a permitir que se obtenha mais tempo com menor resposta de agudos, por exemplo no registro da palavra falada, ou menos tempo com maior fidelidade no registro da música.



Figura 236 – Um antigo gravador de fita (rolo)

Para que o sinal possa ser concentrado numa região muito pequena de modo a se ter maior capacidade de reproduzir sons de frequências elevadas, as bobinas devem ser capazes de concentrar o campo magnético numa região bem pequena.

Isso significa que as cabeças dos gravadores devem possuir “entreferros” muito pequenos, conforme mostra a figura 237.

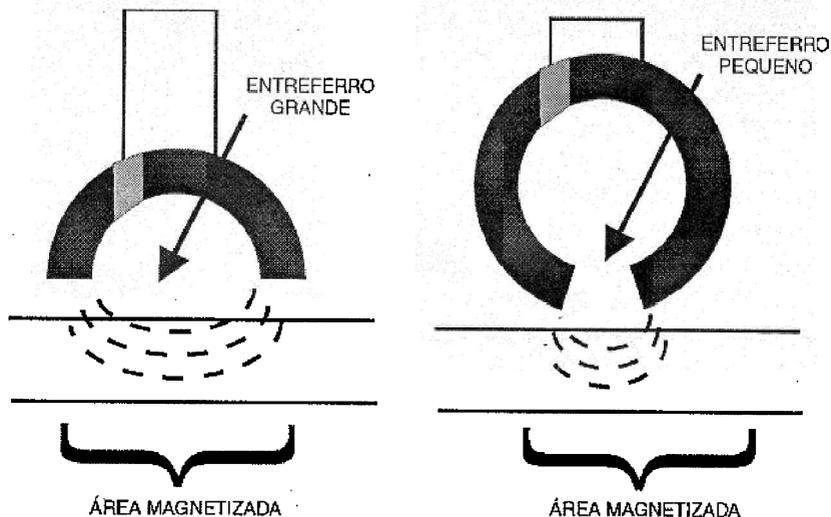


Figura 237 – A influência do entreferro

Os leitores que possuem toca-fitas, walkmans e gravadores sabem que o acúmulo de partículas metálicas nesta cabeça pode prejudicar a reprodução ou a gravação dos sons.

Neste caso, os pedaços de material metálico acumulado neste ponto podem dispersar as linhas do campo magnético, impedindo que atuem sobre a fita. Da mesma forma, na captação esse material impede que as partículas atuem sobre a bobina induzindo a corrente correspondente ao sinal.

Se quisermos ter uma gravação estereofônica precisamos de dois canais. Para estes, as cabeças são duplas, conforme mostra a figura 238, utilizando duas faixas da fita magnetizável.

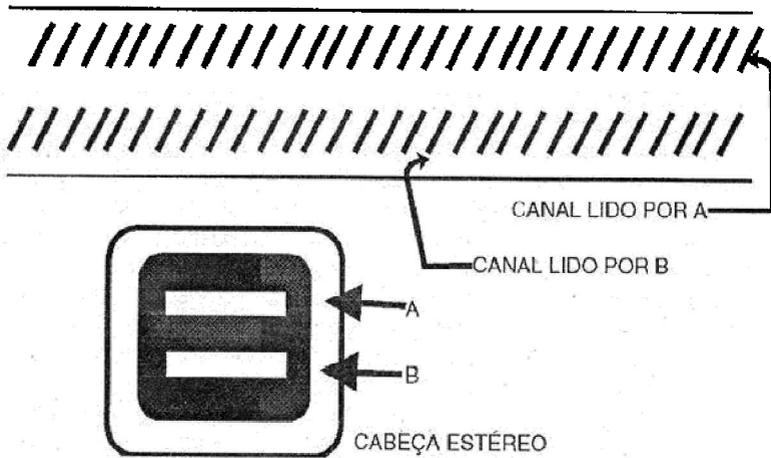


Figura 238 – Gravação estéreo

Na verdade, nas fitas que são utilizadas nos toca-fitas antigos, e que podem tocar nos dois sentidos (no sistema auto-reverse dos toca-fitas de carro) são empregadas quatro faixas de gravação conforme mostra a figura 239.

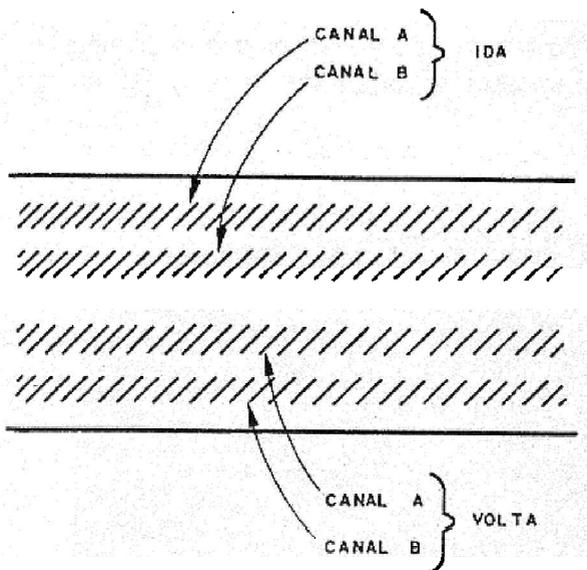


Figura 239 – O sistema auto-reverse

Nestas fitas temos o registro dos sons duas vezes (um para cada canal) na ida e mais duas vezes, na volta da fita.

### **Multi-pistas**

Sistemas sofisticados de gravações de sons, como os que eram utilizados antigamente em estúdios de gravações e cinema, trabalhavam com muitas pistas.

Um ponto importante para se obter um registro "limpo" dos sons é que a fita esteja totalmente desmagnetizada no momento em que o sinal é aplicado.

Para garantir que isso ocorra, desorientando as partículas, os gravadores possuem uma bobina adicional que gera um campo de alta frequência a partir de um oscilador.

Esta bobina, denominada "apagadora" apaga qualquer informação que esteja previamente na fita, desorientando as partículas e deixando-as prontas para uma nova orientação.

O interessante do processo é que, uma vez orientadas segundo o sinal aplicado ao eletro-ímã, as partículas mantêm suas posições originais, ou seja, "gravam" a informação correspondente a esse som.

Para recuperar a informação, reproduzindo o som temos de pensar num processo inverso.

Devemos então passar a fita diante de uma bobina que possa "captar" o campo das partículas orientadas, gerando em função disso um sinal.

Para que o processo funcione o primeiro ponto importante a ser observado é o relacionado com a velocidade da fita.

A velocidade com que a fita se movimenta diante da bobina deve ser a mesma que foi utilizada durante o registro.

Se isso não ocorrer, conforme mostra a figura 240, teremos uma modificação do comprimento de onda do sinal gerado, ou seja, da frequência, e os sons se tornarão mais graves ou mais agudos.

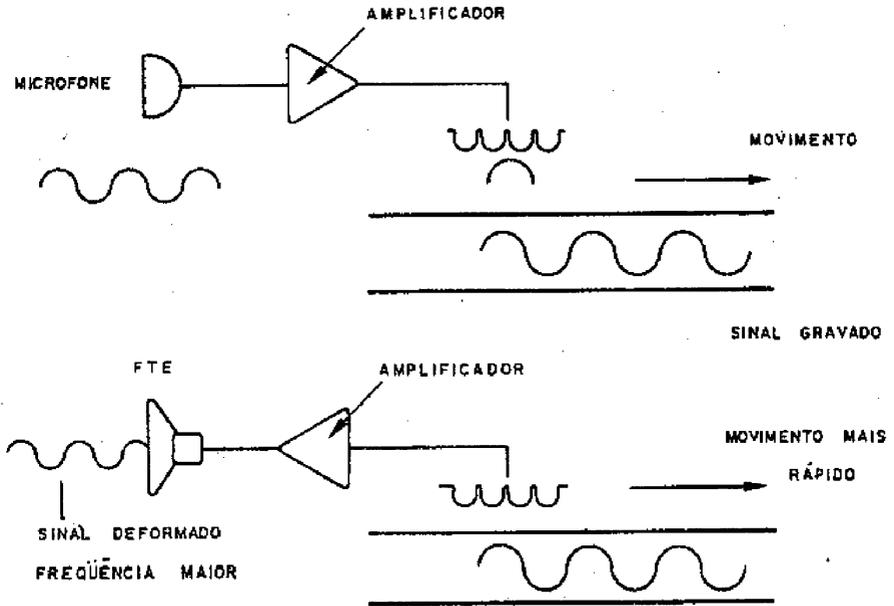


Figura 240 – Influência do movimento da fita

O leitor sabe perfeitamente que a voz se torna mais “grossa” quando o toca-fitas, por algum motivo movimentava a fita mais devagar do que deve.

O segundo ponto importante a ser observado é que a cabeça que vai “sentir” o campo magnético da fita deve estar a mais próxima possível e alinhada com esta fita.

O atrito da cabeça com a fita libera partículas as quais tendem a se acumular no local e que, com o tempo, prejudicam a reprodução.

Assim, o sistema reprodutor consiste simplesmente num bom amplificador ligado às cabeças de leitura e de circuitos que sejam capazes de manter constante a velocidade da fita.

Os amplificadores que trabalham nos reprodutores de fita, como toca-fitas, walkman e gravadores devem ter uma sensibilidade elevada, pois o sinal que a bobina captadora fornece é muito fraco, da ordem de poucos microvolts.

### 10.3 - Aperfeiçoamentos

Partindo da ideia original, o gravador evoluiu bastante passando dos enormes tipos “de rolo” como o mostrado na figura 13, para os tipos

compactos em que a fita vinha em cassetes. e uma tentativa interessante que terminou com a era da gravação em fita foi o DCC.

A ideia do DCC ou Digital Compact Casstte da Philips, lançado em 1992 que deveria revolucionar a tecnologia da reprodução de som.

Em lugar de gravar sinais analógicos na fita cassette, então o meio popular de gravação de sons, os sinais seriam gravados digitalmente obtendo-se assim uma qualidade de som muito maior.

No entanto, o que a Philips não contava é com o aparecimento do CD que jogou por terra a ideia de ir avante com o novo sistema.

Depois de um lançamento com muito estardalhaço no mundo inteiro, incluindo uma seção de apresentação com almoço no Maksoud Plaza, um dos hotéis mais luxuosos de São Paulo, na qual o autor esteve presente, não se falou mais no assunto e o DCC morreu antes de nascer.

Na figura 241 temos o modo como os sinais digitais eram gravados.

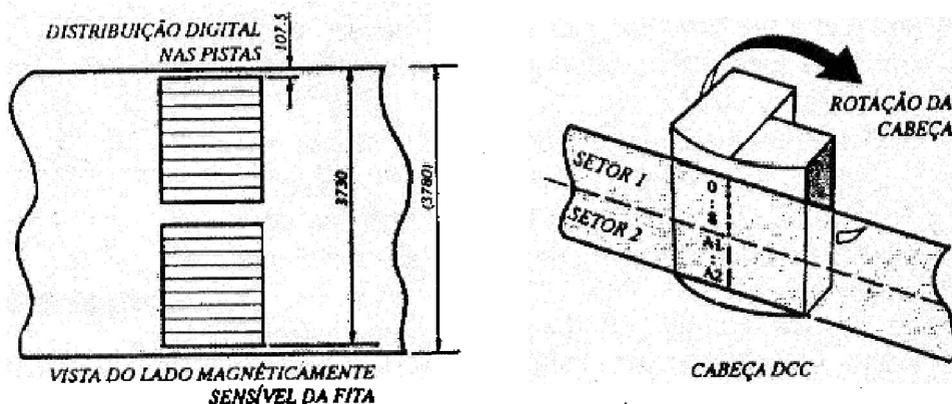


Figura 241 – A gravação digital em fita

No gravador cassete comum, os sons ainda são registrados na forma de variações da intensidade do campo magnético criado, ou seja, do grau de magnetização.

No entanto, com o tempo e também por outros fatores, este campo pode enfraquecer o que leva a deterioração da fita não sem antes apresentar uma perda gradual da qualidade da reprodução.

Uma maneira que tentou se adotar é a que utiliza a gravação digital.

Em lugar de gravarmos as variações de intensidade que cobrem uma faixa contínua, ou seja, corresponde a uma gravação analógica, convertemos os sons em informações digitais.

Informações digitais significam que na fita temos regiões magne-

tizadas ou não magnetizadas que passam a representar zeros e uns (níveis baixos e altos), conforme mostra a figura 242.

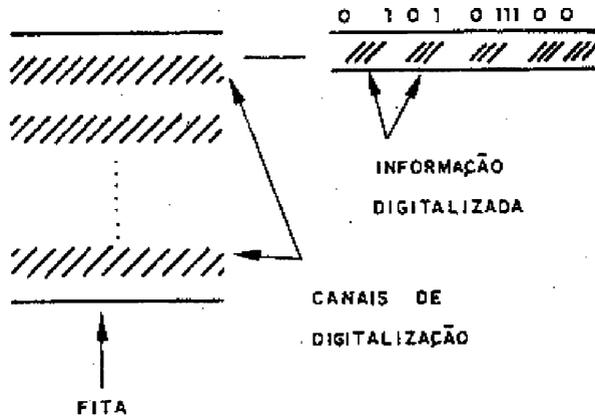


Figura 242 – Gravação digital multicanal

Desta forma, uma região magnetizada que represente um nível alto (um), mesmo que perca um pouco de sua magnetização ainda pode ser reconhecida como nível alto e isso impede a perda da informação e, portanto, a distorção.

#### QUESTIONÁRIO:

1) A gravação em fita magnética de um som diretamente com um sinal de áudio é um processo:

- a) Analógico                      b) Digital  
c) Eletrostático                  d) Binário

2) Se reduzirmos a velocidade da fita de um gravador, o som se torna:

- a) Mais potente                  b) Mais grave  
c) Mais agudo                      d) Distorcido

## Lição 11 - Som Digital

Outras fontes de programa mais modernas são as que fazem uso do som digitalizado mas de uma forma mais fácil de ler, como os CDs, MP3, pen-drivers e outras.

Para entender como elas funcionam, devemos partir da digitalização do som que será analisada nesta lição.

### 11.1 - Gravação Digital

A gravação analógica tem por finalidade registrar diretamente o sinal original com a maior fidelidade possível.

No entanto, as próprias características do processo como a não linearidade dos circuitos e dispositivos envolvidos além da inevitável presença de ruído, fazem com que fidelidade total não possa ser obtida.

Para os sinais digitais esses problemas não ocorrem, no entanto, dependendo da maneira como o sinal é tratado, ainda é possível obter melhor qualidade de som com os sinais analógicos.

#### Fidelidade

Muitos adeptos do som "puro" ainda questionam a qualidade das mídias atuais, principalmente as digitais, se bem que as diferenças que eventualmente possam ocorrer dependem muito mais do processo de digitalização e reprodução.

O processamento do sinal de áudio para sua conversão para a forma digital começa como a amostragem e retenção, conforme mostra a figura 243.

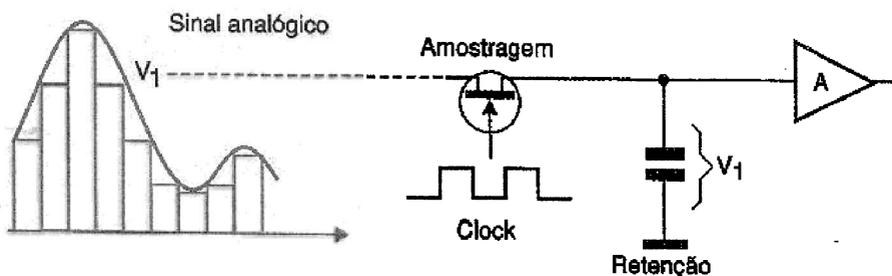


Figura 243 – O circuito de amostragem e retenção

O sinal analógico é dividido em setores sendo cada um deles amostrado em função de sua amplitude.

Durante o tempo de amostragem, o valor obtido é constante o que leva a um sinal formado por pequenos setores retangulares, conforme mostra a figura 244.

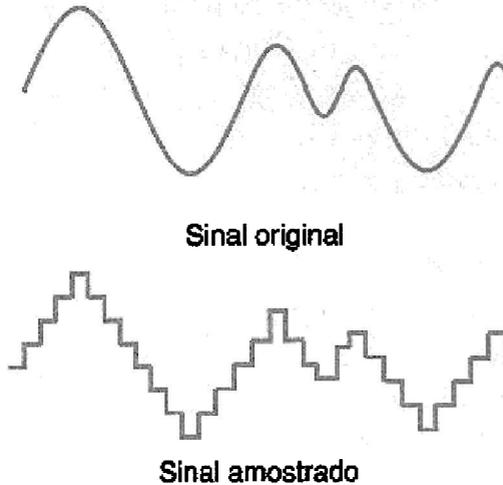


Figura 244 – Um sinal amostrado

O tempo de amostragem que determina a largura de cada um dos setores é denominado período de amostragem.

A amostragem e retenção é um processo fundamental para a digitalização do sinal. Teoricamente, o sinal amostrado deve ter uma faixa de frequências limitada à metade da frequência de amostragem, o que é conhecido como critério de Nyquist.

A frequência de amostragem é denominada também frequência de Nyquist, determinando a faixa do sinal que vai ser digitalizado.

Se o sinal que vai ser amostrado possuir componentes de frequência superiores à frequência de Nyquist, esse sinal deve ser filtrado, com as componentes eliminadas, de modo a se evitar um tipo de distorção denominada "falseamento" ou "alias", se adotarmos o termo original do inglês.

Uma frequência muito usada nos equipamentos de áudio digital para a amostragem é 44 100 Hz, o que significa que teremos um limite para a faixa passante ou de som gravado-transmitido-reproduzido de 22 050 Hz, conforme mostra a figura 245.

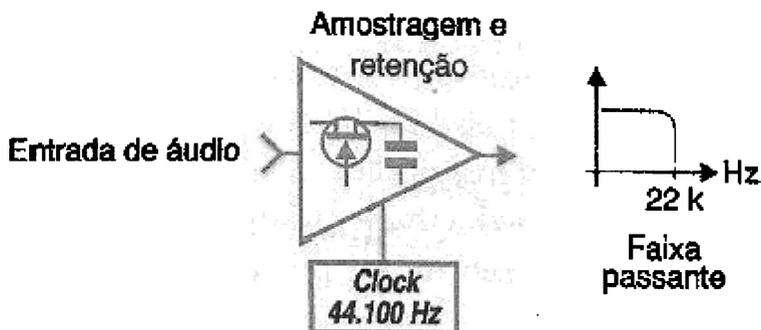


Figura 245 – A faixa passante

É importante observar que muitos “audiófilos” acreditam que, mesmo que não possamos ouvir sons que estejam acima dos 18 000 Hz tipicamente, a presença de componentes de frequências mais altas, “enriquecem” o som e, portanto, devem estar presentes nos sinais de áudio.

### Coloração do som

Um termo usado pelos especialistas em áudio para indicar que um som é mais rico em detalhes (eventualmente associados a harmônicas) e que o som tem uma coloração melhor.

Os músicos chegam até dizer que são essas harmônicas acima de 18 kHz que dão o “colorido” a uma peça musical.

### Audiófilo

O termo audiófilo tem sido adotado nos meios técnicos para designar os que gostam de som.

Evidentemente, trata-se de algo bastante subjetivo que ainda hoje divide os adeptos do som analógico, inclusive separado entre os equipamentos que usam válvulas e transistores, dos adeptos do som digital.

Assim, para essas pessoas, amplificadores de alta qualidade devem ter faixas de reprodução que vão muito além chegando em alguns casos a 100 kHz ou mais!

O próximo passo na ação do codificador de um CODEC consiste na

conversão analógica para digital, executada por um ADC ou Analog-to-Digital Converter.

Desta forma, depois da preparação do sinal com uma amostragem do valor analógico de cada fatia do sinal amostrado, o nível de tensão ou amplitude é convertido para a forma binária, conforme mostra a figura 246.

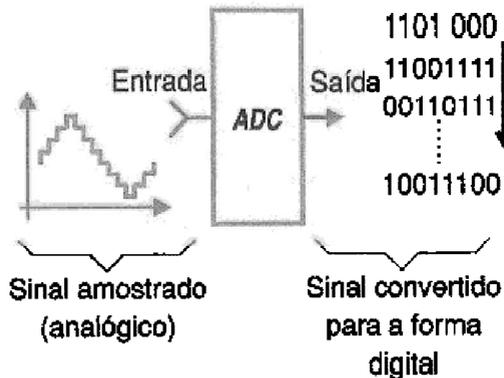


Figura 246 – O ADC

A qualidade da conversão de um sinal digital dependerá da quantidade de níveis possíveis de tensão que podem ser representados.

Enfim, a qualidade da conversão será dada pelo número de bits usados para representar cada nível do sinal amostrado.

A maioria das conversões é feita com a utilização de 16 bits, mas alguns equipamentos de fidelidade maior utilizam até 24 bits.

Uma vez que os sinais analógicos passam a ser representados por uma seqüência de números representando as amplitudes instantâneas das amplitudes amostradas, passamos a fase seguinte que consiste no processamento dessa informação (agora discreta) na forma digital.

Além disso, nessa seqüência de bits podem ser acrescentadas informações adicionais como o número de bits de quantização e a freqüência de amostragem.

Essas informações adicionais são importantes, pois possibilitam que os sinais sejam transmitidos ou armazenados numa velocidade diferente daquela em que devam ser gravados ou transmitidos.

O processamento desses sinais é feito com a ajuda de Processadores Digitais de Sinais ou DSPs, o que significa que algoritmos podem ser usados para incluir efeitos.

**DSPs**

Os Digital Signal Processors ou Processadores Digitais de Sinais são poderosos processadores capazes de transformar um sinal analógico em digital e depois fazer seu processamento em tempo real. O processamento pode modificar o sinal ou simplesmente servir para sua análise.

Em suma, o som agora pode ser tratado de forma matemática.

Isso significa que muitos efeitos, sons adicionais podem ser gerados de forma matemática, gerando-se a seqüência de números que representam esses sons.

Isso é feito justamente pelos sintetizadores digitais de sons, muito usados em estúdios e outras aplicações semelhantes.

A seqüência de números na forma digital que representa o som pode então ser gravada ou transmitida de forma muito mais consistente.

O passo seguinte consiste agora se recuperar o som original, o que é feito pelo setor de DECodificação.

Para se obter o som na forma original, analógica, já que os nossos ouvidos recebem ondas sonoras que são sinais analógicos, o primeiro passo consiste em se fazer a conversão da informação digital para a forma analógica, ou seja, aplicar a informação num DAC ou Conversor Digital-para-Analógico.

Os valores digitais de cada amplitude que foi a mostrada do sinal original são convertidos em seqüência, gerando um sinal que tem a forma de onda mostrada na figura 247.

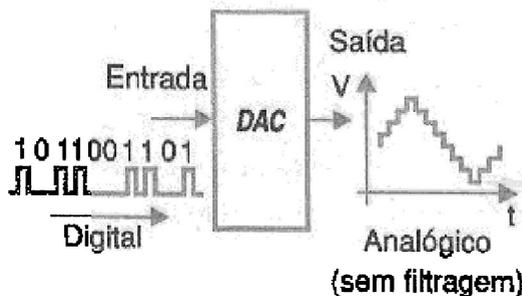


Figura 247 – O DAC

O sinal obtido está cheio de degraus e em princípio, ainda não corresponde à forma de onda original. Para devolver ao sinal a forma de onda original ele deve passar por um filtro passa-baixas, conforme mostra a mesma figura.

Esse filtro elimina as componentes de frequências acima da frequência de Nyquist, obtendo-se então um sinal analógico que corresponde ao sinal original.

A forma de onda do sinal obtido se aproxima bastante da forma de onda do sinal original. A qualidade do sinal de saída é avaliada pela sua taxa de distorção.

## 11.2 - Como Funciona a Gravação em CD

Os princípios que estudamos acima são a base das gravações em CD.

Os CDs não utilizam meios magnéticos para reter a informação mas sim meios ópticos.

Numa superfície metálica polida são gravados pequenos ressaltos e buraquinhos denominados "pits".

Estes pits correspondem aos bits de informação e são extremamente pequenos, na verdade bem menores que os ímãs elementares usados nos disquetes. Na figura 248 mostramos como a informação é gravada e lida num CD-ROM.

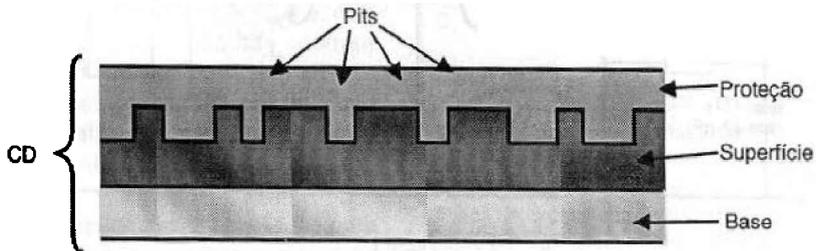


Figura 248 – A gravação num CD

Como a densidade dos pits é muito maior do que a dos ímãs elementares usados nos disquetes podemos gravar muito mais informações num CD do que num disquete.

Para que o leitor tenha uma ideia, sem levar em consideração os tamanhos, enquanto que num disquete gravamos algo em torno de 1,4 Megabytes de informação, num simples CD comum cabem em torno 550 Megabytes.

Para ler estas informações é empregado um engenhoso sistema óptico que envolve um emissor de raios LASER, um conjunto de lentes e um foto-sensor, normalmente um foto-diodo.

O LASER emite então sua luz de forma precisa de modo que ela ilumine os pits. Onde há um pit temos um sinal de retorno que é focalizado pela lente de modo a incidir no foto-sensor.

O foto-sensor produz então o sinal elétrico que informa ao circuito que o bit correspondente foi lido.

Como o leitor pode perceber, o fato dos pits serem físicos, ou seja, ressaltos e cavidades do metal, eles não podem ser facilmente alterados por influências externas.

Assim, diferentemente do que ocorre com as mídias magnéticas, o tempo, campos magnéticos ou mesmo radiação natural não afeta os dados contidos nos CDs, que podem então ser considerados praticamente eternos. Na verdade, outros fatores limitam sua vida útil.

### **Quanto dura um CD**

Um estudo realizado pela Netherlands Organization for Applied Scientific Research (TNO) determinou que a vida útil esperada para um CD é de aproximadamente 30 anos. Após esse período, os CDs deixam de produzir som devido a oxidação que afeta os pequenos ressaltos na superfície do metal, que correspondem à informação digital. Por outro lado a mesma organização revela que a vida útil para as fitas de vídeo é bem menor. Uma pesquisa realizada em arquivos de fitas de vídeo, revelou que unidades com mais de 3 anos de idade já apresentava certa "descoloração" para o azul, devido a perda da magnetização. (1994)

A possibilidade de se fazer a gravação de CDs a partir de um computador comum, consiste na solução ideal para quem deseja eternizar informações.

## **11.3 - MP3**

A primeira forma de se registrar sons e que se tornou popular para a reprodução de música foi o disco de vinil. Depois veio a fita cassete e finalmente o CD, deixando para trás todos os outros meios anteriores.

A digitalização do som para o seu registro em diversos tipos de mídia trouxe possibilidades enormes de novos equipamentos de som.

O CD é um exemplo em que os sons são registrados da forma digi-

tal possibilitando não só uma qualidade enorme de reprodução como também uma densidade de gravação que não se consegue com outras formas de registros.

E com o DVD podemos registrar sons, dados e imagens.

Ao se tratar de informação digital, um problema que ocorre imediatamente ao se tentar fazer sua gravação, é tentar reduzir ao máximo o espaço que ela precisa.

São usadas memórias ou em princípio dispositivos que devem memorizar dígitos e o grande problema que estes dispositivos apresentam é justamente quanto de informação eles podem conter.

Assim, para se obter maior quantidade de informação num espaço menor existem diversas possibilidades sendo a mais usada a que faz uso de técnicas de compressão.

Um som, por exemplo, na maioria dos casos não consiste numa vibração ou ciclo único de vibração com determinada forma de onda que representa o seu timbre.

Na maioria dos casos, são produzidos diversos ciclos da vibração com a mesma forma de onda, durante intervalos que podem ser desde muito curtos para um som breve até relativamente longos para notas musicais prolongadas.

Desta forma, em lugar de se gravar bit a bit os valores instantâneos de todos os ciclos de um som, o que representariam milhões de bits por segundo de som, o que se faz é amostrar apenas um ciclo, e "dizer" quantas vezes este ciclo pode ser repetido.

Usando técnicas especiais pode-se "comprimir" um som, sem que ele perca sua qualidade de modo que ele precise de um espaço de memória até mais de 10 vezes menor do que se ele fosse gravado da maneira convencional como ocorre num CD.

### **11.3.1 – Mais Sobre o Som Digital - Padrões**

Som digital é criado a partir de amostras de 16 bits por segundo de um sinal analógico que corresponde ao sinal de música conforme mostra a figura 249.

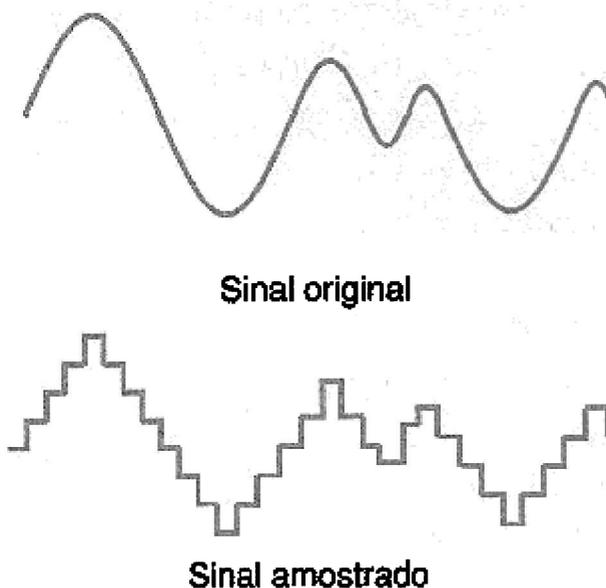


Figura 249 – Sinal amostrado

Em cada instante a amplitude instantânea do sinal de áudio é lida e convertida num valor expresso digitalmente que então é processado pelos circuitos para a gravação ou reprodução.

Nos CDs a leitura é feita numa velocidade de 44,1 kHz ou 44 100 ciclos de leitura por segundo o que significa que para se obter um segundo de som com a qualidade CD é preciso gravar ou ler 1,4 milhões de bits de dados.

De modo a permitir que sons sejam gravados ocupando pouco espaço de memória e mantendo sua qualidade, uma técnica é a criada pelo Moving Pictures Expert Group que foi denominada MPEG3.

Esta técnica foi abreviada ainda para MP3 e foi justamente usada para comprimir arquivos que contenham música de uma forma tal que eles ocupem pouco espaço de memória e ainda mantenha a mesma qualidade do som gravado em CDs.

O que se faz é aplicar algoritmos, ou seja, processos matemáticos ao sinal digitalizado de modo que eles possam ser comprimidos conforme já explicados na parte inicial do artigo.

A história do MP3 pode ser resumida da seguinte forma:

Em 1987 o IIS inicia um trabalho no sentido de codificar som na forma digital para transmissão via rádio.

Com a utilização da codificação MPEG pode-se reduzir esta taxa de dados por um fator de até 12 vezes sem perder a qualidade de som e de até 24 vezes se for tolerada uma qualidade levemente inferior.

Existem três formas de se fazer a codificação de som pelo sistema MPEG, dadas na tabela abaixo e que ainda mantêm a qualidade de som equivalente a um CD:

1:4	Pela Camada 1 - que corresponde a uma taxa de amostragem de 384 kbps para um sinal estéreo
1:6 a 1:8	Pela Camada 2 - que corresponde a taxas de 156 a 192 kbps para um sinal estéreo
1:10 a 1:12	Pela camada 3 que corresponde a taxas de amostragem de 128 a 112 kbps para um sinal estéreo.

Para que o leitor tenha uma ideia da qualidade podemos comparar as diferentes formas de transmissão de som pela seguinte tabela:

<b>Qualidade de som</b>	<b>Faixa passante</b>	<b>Modo</b>	<b>Amostragem</b>	<b>Taxa de compressão</b>
Telefone	2,5 kHz	mono	8 kbps	96:1
Rádio de ondas curtas	4.5 kHz	mono	16 kbps	48:1
Radio AM	7,5 kHz	mono	32 kbps	24:1
Rádio FM	11 kHz	estéreo	56-64 kbps	26 -24:1
quase CD	15 kHz	estéreo	96 kbps	16:1
CD	maior que 15kHz	estéreo	112-128 kbps	14 - 12:1

Os testes de audição mostram que na camada 3 a qualidade de som é a melhor conseguindo-se uma taxa de compressão de dados de 1:12. Com uma faixa passante de áudio de 10 kHz para canais de som estéreo pode-se ir além com uma taxa de compressão de dados de 1:24.

Na figura 250 mostramos o diagrama de blocos para um sistema MP3.

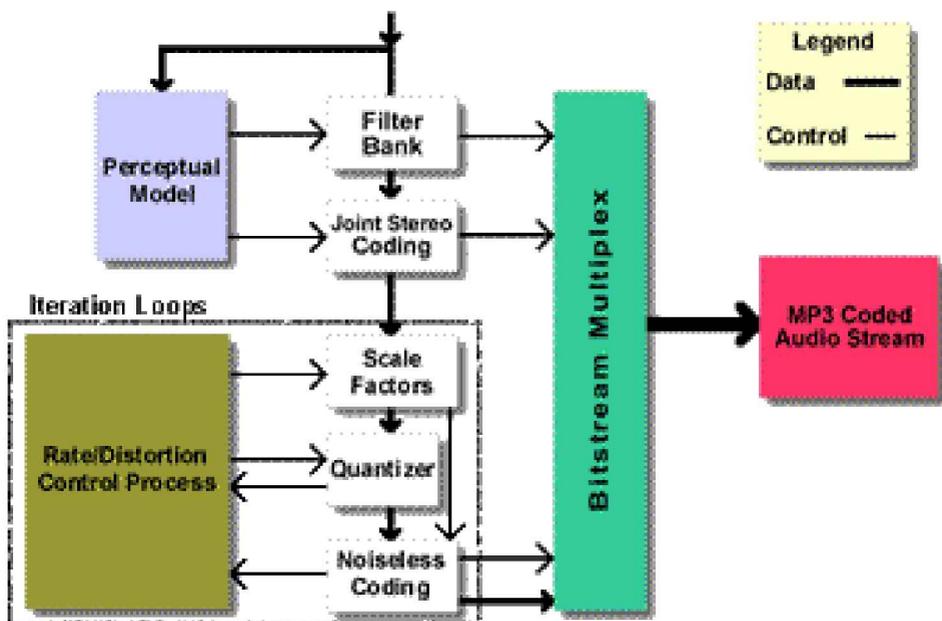


Figura 250 – O MP3

A codificação dos sinais é feita por dois loops de iteração. A quantização é feita por um quantizador que automaticamente opera com menos precisão com sinais intensos de modo a cortar picos de ruídos.

O processo é feito pela codificação Huffman que é um método que tem por característica não adicionar ruído ao sinal de áudio.

De modo a se obter máximo ganho e fatores de escala a taxa de amostragem e a saída do modelo perceptual são feitos normalmente por dois loops listados de iteração num método de análise por síntese da seguinte maneira:

loop de iteração interna (loop de velocidade)

As tabelas do código de Huffman enviam pequenas palavras de código para os valores mais frequentes menores quantizados.

Se o número de bits resultante da operação de codificação for maior do que o bloco de dados, isso pode ser corrigido ajustando-se o ganho global para resultar numa passo de quantização maior e com isso menores valores quantizados.

Esta operação é repetida com diferentes tamanhos de passo de quantização até que a demanda de bits resultante para o código de Huffman seja reduzida ao tamanho desejado.

Este loop recebe esta denominação justamente porque ele modifica

a velocidade de codificação até que ela se torne a menor possível.

Loop externo de iteração (controle de ruído e distorção)

Para adequar o ruído de quantização de modo que ele fique no limiar da percepção fatores de escalas são aplicados a cada faixa de fatores de escala.

Assim, o sistema parte com um fator de escala default de 1,0 para cada banda. Se o ruído de quantização numa determinada faixa superar o modelo perceptual (ruído permitido) conforme previsto, o fator de escala para esta faixa é ajustado para reduzir o ruído de quantização.

Como para se conseguir uma quantização maior necessita-se de maior número de passos de quantização e com isso um maior número de amostragens, o ajuste da velocidade do loop deve ser feito constantemente toda vez que novos fatores de escalas são usados.

Isso significa que e a velocidade de amostragem é listado de acordo com loop de controle de ruído.

O loop externo que controla o ruído, é executado até que o ruído real (dado pela diferença entre os valores espectrais originais e os valores espectrais quantizados) seja menor que o limiar previsto pelo fator de escala de cada banda.

### **11.3.2 – Os aparelhos e as músicas**

Com a possibilidade de se reduzir um arquivo que contenha uma música codificada pelo processo MP3 de um fator de até 24 vezes, mesmo peças longas se tornam pequenas o suficiente para serem transmitidas pela Internet sem problemas ou mesmo gravadas em memórias relativamente pequenas.

No caso da Internet, já existe a disposição dos leitores uma quantidade enorme de músicas que gravadas disponibilizadas na forma de arquivos MP3 para download.

Assim, para que estas peças musicais sejam ouvidas no computador basta ter um programa que “leia” arquivos MP3 como, por exemplo, o “Windows Player” que pode ser carregado “de graça”.

Para obter a música deseja, na versão deseja existem milhares de opções.

O modo mais simples de se obter a música desejada para download é entrando em provedores que disponibilizem este tipo de música.

O tamanho do arquivo pode variar entre algumas centenas de kbytes para “clipes” de 10 segundos até mais de 5 Mbytes para peças longas com 5 minutos ou mais.

Uma vez carregado no seu PC, ou equipamento portátil, basta clicar sobre o arquivo que ele abre no seu Player sendo executado.

Os MP3 Players nada mais são do que aparelhos de som dotados

de uma memória para a qual podem ser transferidas por um cabo, ou mesmo por um link sem fio (wireless) a partir do PC ou celulares, arquivos musicais no formato MP3.

Estes arquivos podem então ser reproduzidos num fone, para que o usuários os ouça.

Assim, basta fazer a seleção musical deseje em casa, a partir de downloads de arquivos das músicas desejadas, gravar no MP3 player e sair ouvindo.

Quando a seleção gravada já não satisfizer mais o ouvinte ele simplesmente a apaga e faz outra usando o mesmo procedimento inicial.

## **DIREITOS AUTORAIS**

O fato de que existe uma quantidade gigantesca de músicas disponíveis na Internet para download grátis não agrada os autores, cantores e detentores dos direitos, principalmente as gravadoras.

Assim, a grande polêmica é como cobrar os direitos de execução destas músicas de modo que os autores possam ser pagos.

### **Mudança de comportamento**

Hoje em dia está na internet a filosofia do Grátis muito bem abordada no livro Free de Chris Anderson. Assim, em lugar de cobrar pelas músicas os músicos preferem divulgar seu trabalho dando-os gratuitamente para quem desejar gravar ou ouvir e em lugar dos direitos autorais, ganham com seus shopws e produtos paralelos.

## **11.4 - Áudio do DVD**

O áudio gravado no DVD depende do padrão de vídeo empregado nas regiões em que o equipamento vai ser usado.

De acordo com os padrões PAL, NTSC e SECAM temos três modalidades básicas de gravação para os sinais de áudio.

No NTSC temos um sistema de 6 canais Dolby Surround AC-3.

São utilizados 5 canais de cobertura completa denominados direito frontal, esquerdo frontal, central, direito posterior, e esquerdo posterior e o canal adicional que é um subwoorfer de 3 a 7 000 Hz. Os demais canais cobrem de 3 a 20 000 Hz, conforme mostra a figura 251.

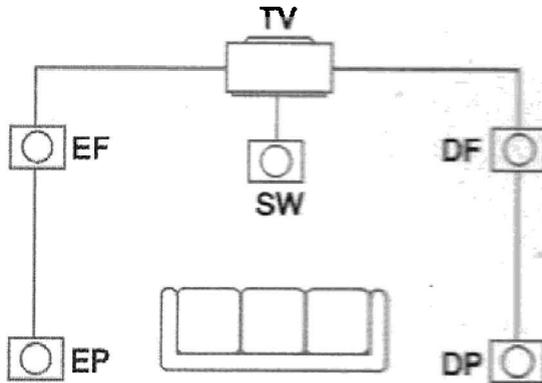


Figura 251 – O Home Theater

Para o PAL e SECAM o sistema de áudio usado é o MPEG-1 ou MPEG-2 com 8 canais na versão 7.1.

Para estes temos o extremo direito, direito, central, esquerdo, extremo esquerdo, direito posterior e esquerdo posterior.

Estes canais cobrem de 3 a 20 000 Hz existindo um oitavo canal que é um subwoofer de 3 a 120 Hz.

Lembramos que Subwoofers são canais de sons muito graves reproduzidos por alto-falantes pesados de alta potência.

Estes alto-falantes têm por finalidade dar a "vibração" do ambiente em sons fortes como o de desabamentos, terremotos, tiros de canhão, etc.

É bom salientar não é obrigatório que todos os sinais destes sistemas estejam presentes numa gravação.

Em todos os sistemas a frequência de amostragem é de 48 kHz e as palavras são de 20 bits.

Existem ainda algumas características obrigatórias e opcionais como:

### **Obrigatório:**

#### **NTSC**

Devem existir saídas para 2 canais estéreo e 2 canais PCM lineares e para AC-3 de dois canais.

#### **PAL e SECAM**

A saída estéreo é de 2 canais PCM lineares e para MPEG compatível com MPEG-1

## **Opcional:**

### **NTSC**

Devem existir saídas para qualquer um dos seguintes padrões: AC-3 (1 a 5 canais); MPEG (1 a 7 canais); DTS (1 a 5 canais) ; SDDS (1 a 7 canais)

### **PAL e SECAM**

Devem existir saídas para qualquer um dos seguintes padrões: AC-3 (1 a 5 canais) ; MPEG (1 a 7 canais), DTS (1 a 5 canais) e SDDS (1 a 7 canais).

**Obs:** DTS significa Digital Theater Sound (Som Digital de Cinema); enquanto que SDDS significa Sony Dynamic Digital Sound (Som Digital Dinâmico da Sony).

### **Questionário**

1 - A gravação em fita é feita:

- a) Com a aplicação de campos elétricos num material eletrostático
- b) Com a aplicação de campos magnéticos em materiais isolantes
- c) Com a aplicação de campos magnéticos em materiais magnéticos
- d) Com a aplicação de tensões elétricas em materiais magnéticos

2 - O entreferro de uma cabeça gravadora influencia em que?

- a) Na qualidade do som
- b) Na potência do som
- c) Na distorção do som
- d) No tempo de gravação

3 - Num toca-discos comum a fonte de sinal é:

- a) O disco de vinil
- b) O motor do toca-discos
- c) O transdutor (pick-up)
- d) O circuito interno de processamento do sinal

4 - A frequência mínima de amostragem para digitalizar um som de 10 kHz, pelo critério de Nyquist deve ser:

- a) 5 kHz
- b) 10 kHz
- c) 20 kHz
- d) 15 kHz

5 - A taxa de amostragem de um CD de música é:

- a) 22,5 kHz
- b) 44,1 kHz
- c) 88 kHz
- d) 100 kHz

## **Lição 12 - Sonofletores ou Caixas Acústicas e Sistemas de Som**

Os alto-falantes comuns não podem funcionar ao ar livre, sem algum tipo de suporte ou recurso apropriado.

Se um alto-falante funcionar à toda potência sem estar montado em local apropriado, podem ocorrer danos a sua estrutura como rompimento do cone, deformações e muito mais.

Assim, os alto-falantes devem ser montados em locais apropriados, normalmente caixas que são denominadas caixas acústicas ou sonofletores.

Existem diversos tipos de sonofletores e os alto-falantes são projetados para trabalhar com eles, já possuindo uma estrutura apropriada para isso.

Os sonofletores também têm por função dirigir ou distribuir o som nas direções certas de acordo com a aplicação.

### **Ar livre**

Nunca use um alto-falante ao ar livre sem recursos apropriados para sua instalação.

Analisemos os principais tipos de forma básica, já que o tratamento aprofundado com fórmulas para projetos, determinação de características ocuparia muito espaço, não sendo objetivo deste curso.

No site do autor, existem muitos artigos que tratam do assunto, para quem deseja saber mais.

### **12.1 - Pannel Infinito (Infinite Baffle)**

Conforme mostra a figura 253, neste sonofletor temos apenas um painel com um furo para fixação do alto-falante.

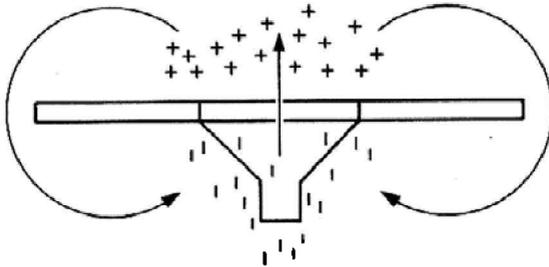


Figura 253 – O refletor infinito

Nesta figura, as ondas de compressão são representadas por (+) e as ondas de descompressão por (-).

Assim, quando o ar é comprimido na frente, pelo movimento do cone neste sentido, o ar na parte posterior é descomprimido.

Dependendo do tamanho do painel e da frequência (tempo de propagação), as ondas de compressão podem chegar à parte posterior, e o resultado é um fenômeno de interferência que afeta a reprodução.

Este fenômeno, é denominado “curto-circuito acústico” e tem um efeito mais pronunciado nas baixas frequências.

Cálculos demonstram que para que um tom de 50 Hz, considerando uma velocidade de propagação do som de 340 m/s o painel precisa ter uma área de pelo menos 22,56 m<sup>2</sup>.

Em suma, tanto maior deve ser o painel quanto menor for a frequência que desejamos ter a reprodução sem problemas.

## 12.2 - Sistemas Fechados ou Caixas Herméticas

Veja que a finalidade do painel é justamente evitar o curto-circuito acústico que ocorre quando a onda de compressão da frente cancela a onda de descompressão parte traseira.

Podemos evitar o curto-circuito acústico se o alto-falante for colocado numa caixa hermética ou fechada, conforme mostra a figura.

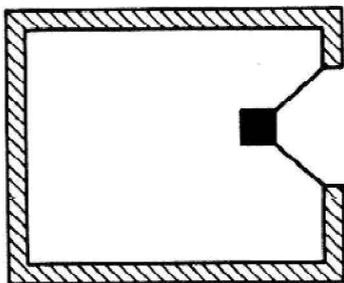


Figura 254 – Sistema hermético ou fechado

Se bem que este tipo de caixa seja semelhante em resposta a um painel infinito, existe um sério problema a ser considerado.

O ar no interior do gabinete funciona como uma mola que é contrainda quando o ar é pressionado, o que ocorre quando o cone se move para trás e depois dsistentida quando o ar se rarefaz no movimento para frente do cone.

Em outras palavras, isso significa um esforço maior do cone que encontra uma resistênci maior para se movimentar.

Um alto-falante que não tenha uma construção robusta especialmente prevista para este tipo de operação, pode ter seu cone rompido ao tentar reproduzir um sinal de potência maior.

Como no refletor infinito, também deve-se considerar que o gabinete possui uma frequência de ressonância que deve ser prevista ao se fazer um projeto de uma caixa deste tipo.

As dimensões devem ser calculadas levando-se em conta a ressonância do alto-falante e para isso existem fórmulas complexas que os leitores que desejam ir além podem encontrar em obras especializadas.

### **Metemática**

Sempre alertamos os nossos leitores que, para se tornarem projetistas ou verdadeiros "engenheiros" e preciso dominar a matemática. Qualquer projeto mais elaborado envolve o uso de fórmulas e cálculos que, dependendo da aplicação, pode envolver matemática superior.

## 12.3 - Os Refletores de Graves

O tipo mais popular de caixa acústica, pelo seu baixo custo, excelente desempenho e a possibilidade de funcionar com alto-falantes comuns é o refletor de graves. Na figura 255 mostramos esta caixa.

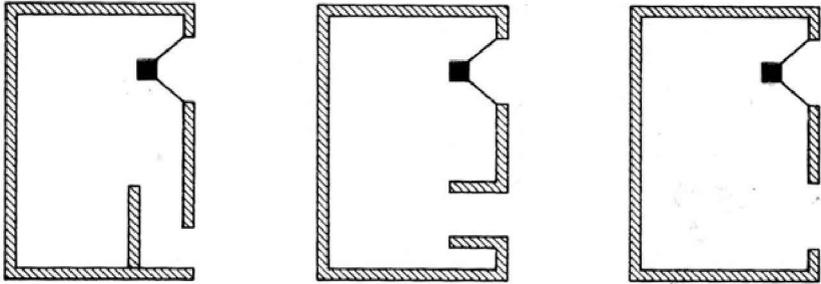


Figura 255 – O refletor de graves (bass reflex)

O que temos neste caso é um gabinete que funciona como um emissor dos sons que são produzidos pelo movimento do cone para trás.

Com o cálculo correto das dimensões deste emissor, por exemplo colocando um cone, como na figura do meios, pode-se modificar a resposta de ressonância do alto-falante, obtendo-se assim uma excelente resposta para os sons graves, daí o nome do sistema.



## 12.4 - Outros sistemas

A utilização de tecnologias especiais para a construção de alto-falantes que, cada vez menores podem reproduzir sons de maior potência com boa resposta de graves, leva também a gabinetes sofisticados.

Caixas contendo labirintos internos para aumentar o percurso dos sons e assim melhorar a resposta de graves são alguns exemplos.

## 12.5 - Como Instalar Seu Sistema de Som

Não basta interligar de qualquer forma os equipamentos de som para se obter um sistema com a melhor qualidade.

É preciso saber como fazer sua interligação. Nesta lição veremos como fazer isso do modo correto de modo a obter melhor desempenho sem risco de dano aos caros componentes utilizados.

### a) Alto-falantes - ligação de caixas

Conforme vimos nas lições anteriores, tanto os amplificadores como os alto-falantes são especificados pela sua impedância. Um amplificador só consegue entregar sua potência máxima a um sistema de alto-falantes se suas impedâncias forem iguais.

Se as impedâncias dos alto-falantes forem maiores, não haverá problema, mas a potência obtida será um pouco menor. O perigo ocorre quando a impedância do alto-falante é menor do que a da saída do amplificador, pois aí pode ocorrer sobrecarga.

Devemos, entretanto, estar atentos para o fato de que, quando juntamos alto-falantes para ligar numa mesma saída de um amplificador, a impedância total que eles apresentam fica alterada.

Dois alto-falantes de 8 ohms quando ligados em conjunto, dependendo do modo como é feita a ligação pode significar 4 ohms de impedância total ou 16 ohms, conforme mostra a figura 256.

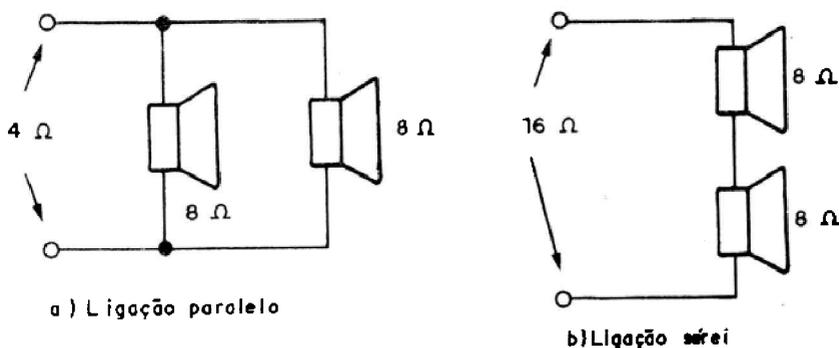


Figura 256 – Associando alto-falantes

Observe que se ligarmos os alto-falantes em paralelo sua impedância fica dividida por 2, ou seja, abaixa, e se ligarmos em série as impedâncias se somam.

Se vamos acrescentar caixas acústicas a um sistema, por exemplo, para distribuir o som por um ambiente, devemos estar atento a este fato.

Na figura 257 temos diversos modos de ligarmos alto-falantes com as impedâncias resultantes.

Nestas ligações as potências também não são distribuídas por igual, principalmente se os alto-falantes tiverem impedâncias diferentes. As frações junto aos alto-falantes indicam que parte da potencia do amplificador eles recebem. Esta informação é importante para determinarmos a sua potencia máxima.

Veja, entretanto, que se tivermos a distribuição de um sinal entre três alto-falantes de modo que as faixas de frequências se separam como, por exemplo, numa caixa com alto-falantes de graves, médios e agudos, com filtro isso não ocorre.

### **Equipamentos prontos**

Os equipamentos comprados prontos com todos os elementos fazendo parte de um conjunto já vem casados, ou seja, o fabricante tem o cuidado de especificá-los de modo que possam ser usados em conjunto, mas isso da maneira que ele recomenda. Tenha muito cuidado ao fazer qualquer alteração.

Assim, se usarmos um filtro e alto-falantes de graves, médios e agudos de 8 ohms, a impedância total da caixa ainda será de 8 ohms. figura 257 mostra que ocorre.

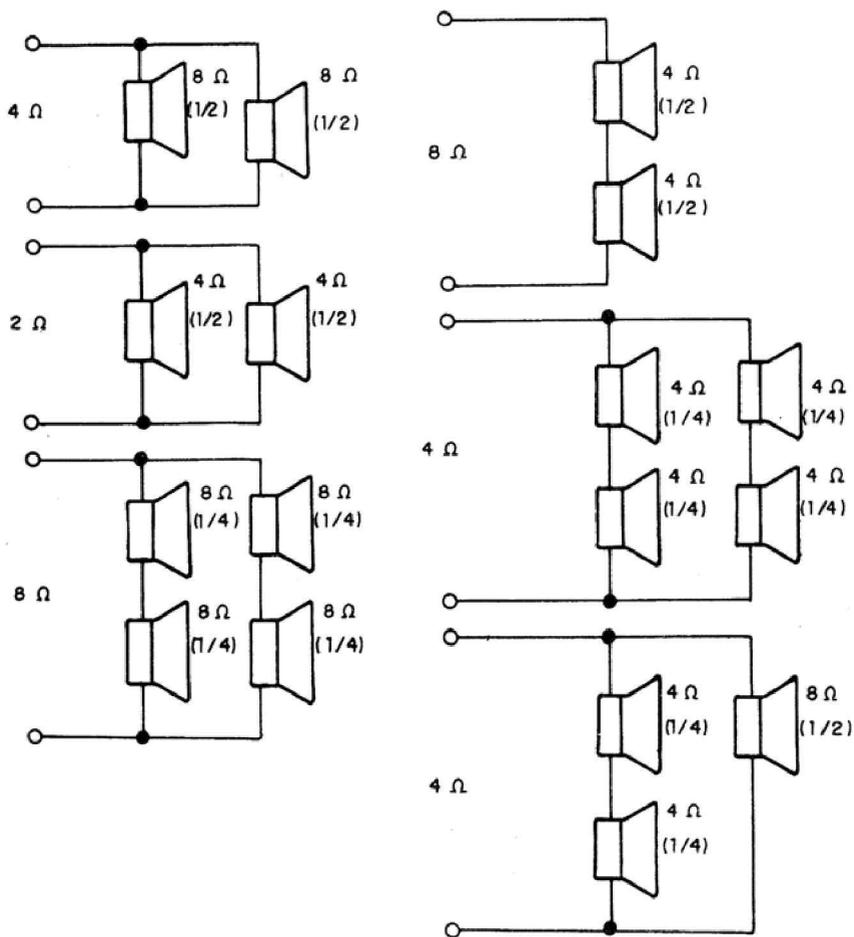


Figura 257 – Modos de ligação

Se o leitor pretende ligar diversos alto-falantes ou caixas a saída de um amplificador devemos fazer uma das ligações indicadas sempre atentando para as impedâncias finais de acordo com as características do amplificador.

Lembramos também que os amplificadores de carro podem operar com impedâncias de 2 ohms em alguns casos.

### c) Rncos e Ruídos

Eis um problema que atormenta muitos que pretendem interligar diversos aparelhos para formar seu sistema de som.

O principal problema ocorre pela captação do zumbido de corrente

alternada, da rede de alimentação. Os fios da rede elétrica, da própria instalação de sua casa "irradiam" um sinal de 60 hertz que se traduz num som grave quando captado pelos equipamentos de som.

Você pode ter uma ideia disso simplesmente colocando o dedo no fio de entrada de um amplificador. Seu corpo funciona como uma antena e capta o sinal de 60 Hz que é amplificado e reproduzido.

A figura 258 ilustra o fenômeno.

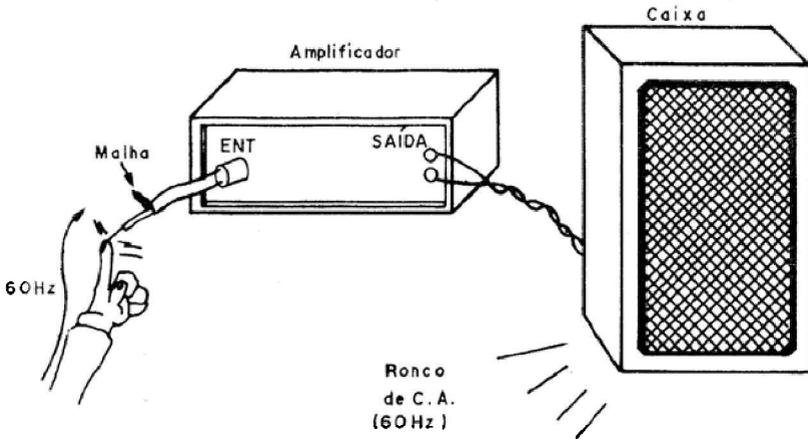


Figura 258 – Ronco de 60 Hz

Para evitar a captação deste zumbidos os amplificadores são blindados, os circuitos normalmente são aterrados e todas as ligações sensíveis são feitas por meio de fios blindados.

Veja que uma blindagem de um fio ou equipamento só funciona se estiver aterrada. A ligação a terra pode ser feita de duas formas:

A mais simples consiste em se aproveitar o terra do próprio equipamento que é a sua blindagem. Este terra corresponde ao negativo ou ponto de O Volt da fonte de alimentação.

Outra possibilidade consiste em se usar um terra externo que pode ser uma barra de metal enterrada no chão, conforme sugere a figura 259.

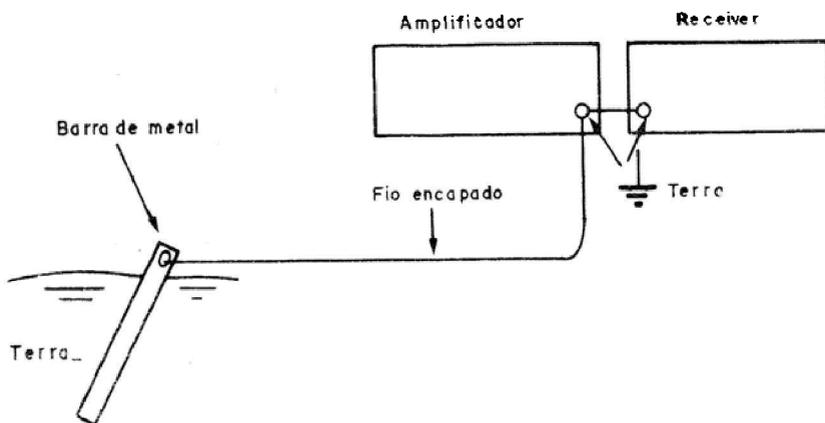


Figura 259 – Usando terra externo

Existem na maioria dos aparelhos de som bornes para a ligação externa deste terra.

### Tema importante

Este tema já foi tratado nas lições em que tratamos de roncões e ruídos, mas na ocasião não demos todos os métodos para sua eliminação.

Para os cabos de microfones, toca-discos e outros dispositivos por onde pode entrar o zumbido, a malha ou blindagem e ligada pelo próprio plugue ao terra do aparelho. Uma deficiência desta ligação permite a entrada do zumbido. Veja a figura 260.

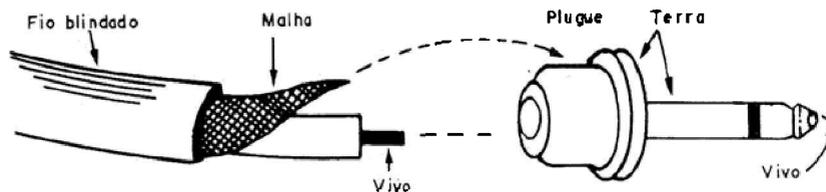


Figura 260 – Ruído entrando pelos cabos

Na figura 261 vemos uma ligação deficiente em que pelo pequeno pedaço de fio que fica fora da blindagem entra o sinal de 60 Hz que produz o ronco no aparelho.

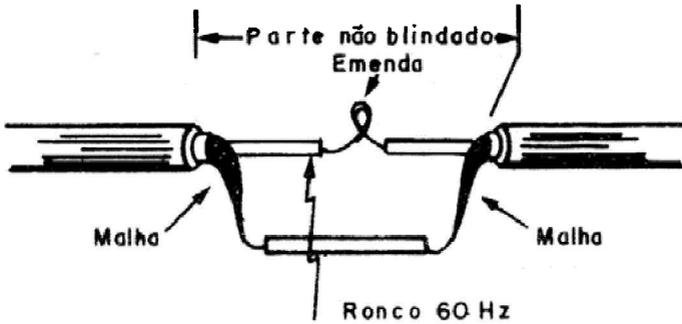


Figura 261 – Entrada de ronco pela emenda

Você pode facilmente comprovar que o ruído entrar pelo cabo se ao segurar no microfone; ou aproximar sua mão do microfone ou de seu fio, o ronco aumenta. O mesmo ocorre com toca-discos, mixers, instrumentos musicais e outras fontes de sinal.

Muito cuidado deve ser tomado na ligação de qualquer cabo para que não entre roncões. Uma ligação deficiente de um microfone, por exemplo, em que o fio vivo tenha contacto com a carcaça ou esteja muito próximo dela pode ajudar na captação de roncões. Estes roncões ocorrerão de forma mais acentuada quando segurarmos o microfone. Veja na figura 262 o que ocorre.

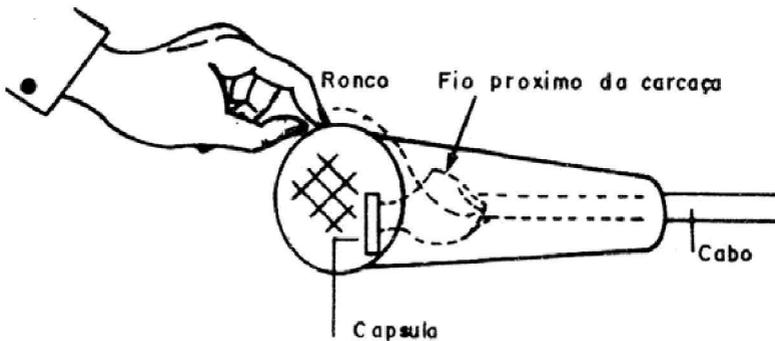


Figura 262 – Captação de roncões por microfones

Quando interligamos diversos aparelhos, por exemplo, um receiver, um amplificador e um tape-deck, as pequenas diferenças de tensão que ocorrem entre os terras, mesmo da ordem de milésimos de volt causam roncões.

Estes roncões podem ser eliminados se interligarmos todos os chassis, aproveitando os pontos de terra por um fio único preferivelmente grosso, conforme mostra a figura 263.

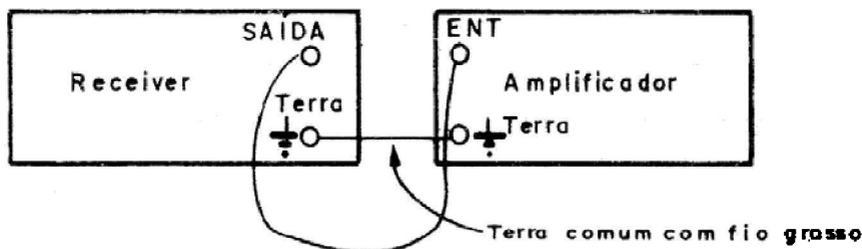


Figura 263 – Interligação de terras

Um problema de captação que pode ocorrer com aparelhos amplificadores e pré-amplificadores muito sensíveis e quando estações de rádio "entram", principalmente nas grandes cidades ou quando o usuário mora perto de uma antena transmissora.

### **Aterramento**

É muito importante que o terceiro pino das tomadas modernas realmente esteja aterrado para que ele funcione como blindagem para eliminar roncões de equipamentos de som.

O que ocorre é que os fios de entrada funcionam como antenas e os circuitos eletrônicos funcionam como detectores do sinal e o som aparece no alto-falante com maior ou menor intensidade dependendo da gravidade do problema.

Quais são as soluções possíveis?

Uma das soluções mais simples é o aterramento dos equipamentos evitando assim qualquer possibilidade de entrada do sinal interferente.

Uma solução mais técnica consiste na ligação em paralelo com a entrada interferida de um capacitor de 100 pF a 1 nF conforme mostra a figura 264.

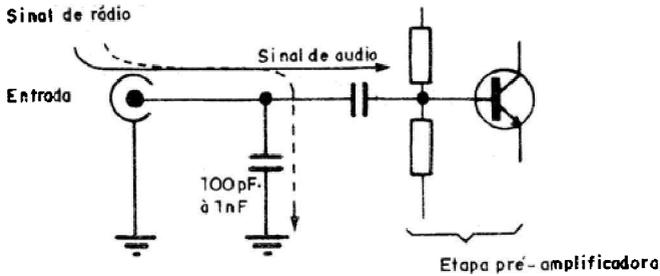


Figura 264 – Desacoplando sinais de RF

O problema de qual entrada está sendo interferida pode ser verificado com a aproximação do dedo dos condutores conectados a estas entradas. Se o sinal se tornar mais forte é sinal que teremos chegado a entrada com problema.

A solução para os casos mais graves é a blindagem da própria sala em que se encontra o equipamento com uma malha metálica ligada a terra. Esta é a solução que os estúdios de gravação adotam, onde qualquer tipo de ruído é indesejável. Na figura 265 temos um estúdio blindado.

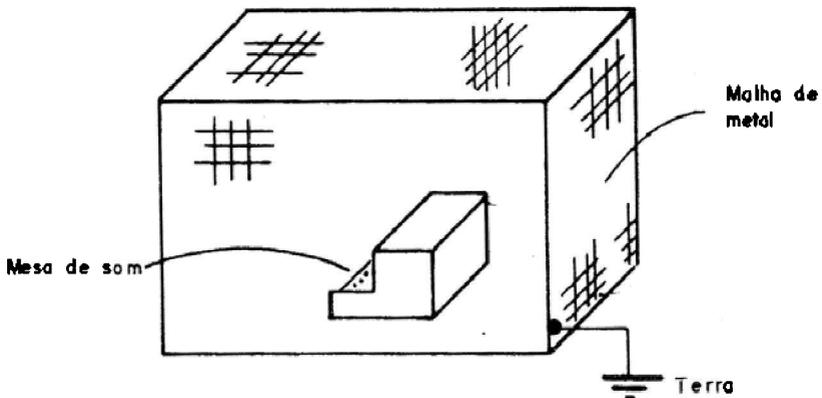


Figura 265 – Estúdio blindado

### Gaiola de Faraday

Veja mais sobre as blindagens no nosso Curso de Eletrônica - Eletrônica Básica em que tratamos da Gaiola de Faraday.

Temos ainda um tipo de ruído a ser considerado. Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas eletrônicas, motores elétricos e outros aparelhos do mesmo tipo produzem interferências que se manifestam na forma de roncões, chiados e estalos nos aparelhos de som.

Estas interferências ocorrem com maior intensidade nas faixas de AM do que de FM, pois o sistema de FM é menos sensível a este tipo de problema.

Os ruídos de aparelhos elétricos podem chegar aos equipamentos de som de duas formas:

Se os ruídos chegarem via espaço, ou seja, sem fio, as soluções possíveis são a blindagem do equipamento e seu aterramento, ou então afastar ele ou sua antena, da fonte interferente. Veja a figura 266.

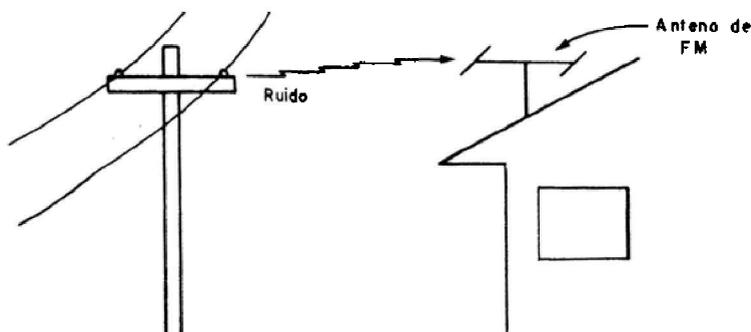


Figura 266 – Afastando a antena da fonte interferente

No caso de um receptor de AM a simples rotação do aparelho mudando de posição a antena interna de ferrite já pode dar uma melhora considerável no problema de interferência. Experimente, se for seu caso.

Se os ruídos vierem via rede de alimentação, se propagando através dos fios da instalação elétrica temos duas soluções possíveis.

Uma é procurar usar uma tomada diferente, que eventualmente estando mais longe do aparelho interferente reduz o efeito. A figura 267 mostra o que deve ser feito.

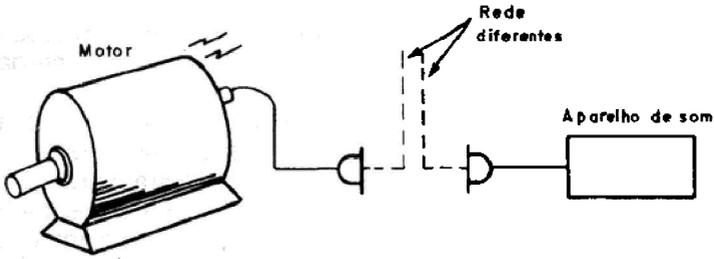


Figura 267 – Trocando de tomada

A outra possibilidade é o uso de um filtro que será intercalado entre a rede e o aparelho que recebe a interferência conforme mostra a figura 268.

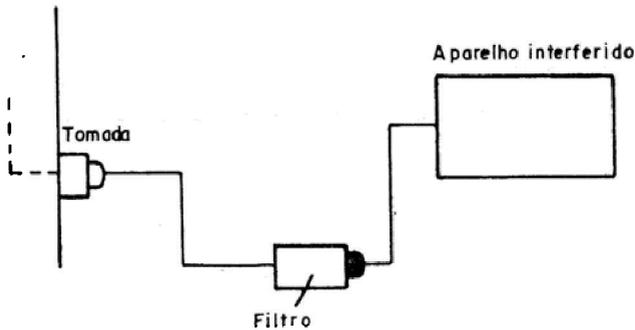


Figura 268 – Usando um filtro

Um filtro simples tem seu esquema mostrado na figura 269.

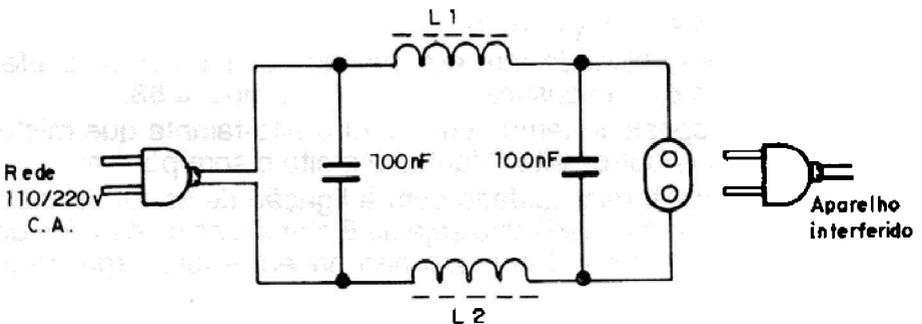


Figura 269 – Um filtro simples

### Terceiro pólo

Nas tomadas atuais temos o terceiro polo que deve ser aterrado.

As bobinas são formadas por 20 a 50 voltas de fio comum 22 num bastão de ferrite de 0,1 a 1 cm de diâmetro. Os capacitores são de poliéster com uma tensão de trabalho de pelo menos 400 V se a rede for de 110 V e 600 V se a rede for de 220 V.

O aparelho deve ser montado numa caixa metálica e se possível, sua carcaça deve ser aterrada para eliminar qualquer vestígio de interferência que possa ser irradiada.

Uma outra possibilidade consiste em se adaptar o filtro ao aparelho que provoca a interferência. Da mesma forma, o filtro é ligado entre o aparelho interferente e sua tomada de alimentação.

#### d) Posicionamento de caixas acústicas

A colocação numa sala das caixas acústicas é um problema que, se mal solucionado, pode causar uma considerável perda de qualidade para seu sistema de som.

A primeira preocupação que devemos ter é com a separação das caixas num sistema estereofônico.

As caixas devem estar separadas pelo menos em 2 metros uma da outra para que um ouvinte na frente a uma distância máxima de 3 metros tenha a sensação de volume e separação que caracterizam o som estereofônico. Na figura 270 mostramos as posições relativas do ouvinte e das caixas para que tenhamos um bom efeito.

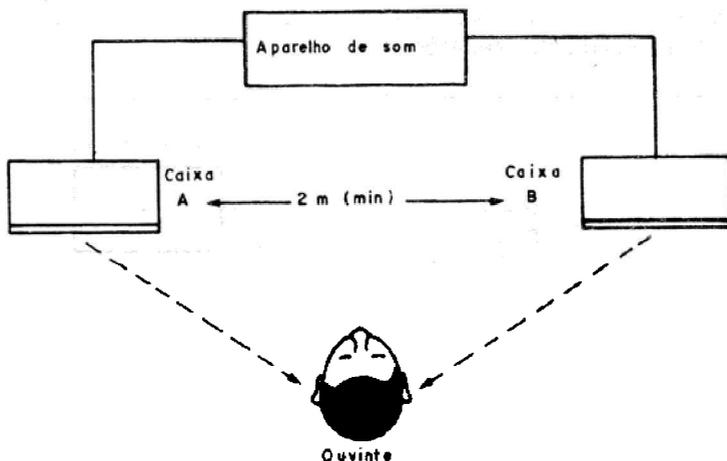


Figura 270 – Posicionamento das caixas acústicas

Se as caixas estiverem juntas, não teremos a separação do som e o efeito estéreo não existe.

Uma possibilidade interessante de complementar o efeito com uma terceira caixa acústica e mostrada na figura 271.

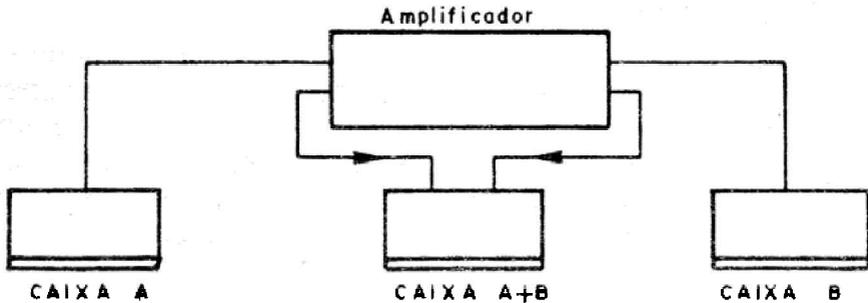


Figura 271 – Usando uma caixa central

Nesta disposição temos um terceiro alto-falante que mistura os canais dos dois outros alto-falantes e emite o som por traz.

Nos sistemas atuais, mais sofisticados o terceiro alto-falante reproduz apenas os graves, consistindo no que se denomina Bass-Booster,

Para ele é usado um amplificador separado e para melhores efeitos, de potência elevada.

Devemos tomar cuidado com a ligação deste terceiro alto-falante para que sua impedância seja de 8 ohms e as saídas dos dois canais sejam de 4 ohms. Com isso não haverá sobrecarga no sistema.

Dois alto-falantes traseiros adicionais podem dar um efeito próximo do chamado quadrafônico ou quadrifônico quando dispostos da forma mostrada na figura 272.

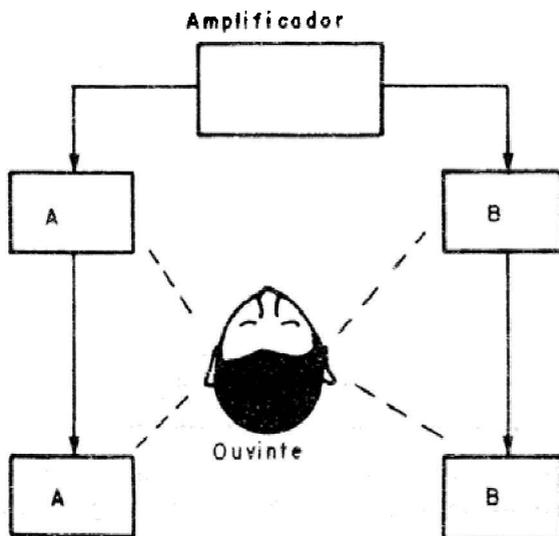


Figura 272 – O sistema de 4 canais

Existem aparelhos que já possuem saídas para 4 caixas e que facilitam este tipo de ligação. No entanto, se o equipamento possuir duas saídas e quisermos ligar quatro alto-falantes devemos fazer uma das configurações para este número de alto-falantes, mostrada logo no início deste capítulo. As características de todas as cargas devem ser iguais para que tenhamos uma distribuição uniforme do som no ambiente.

Problemas adicionais de instalação de som referem-se aos efeitos que objetos de uma sala podem ter. Móveis volumosos, cortinas, portas e outras aberturas tanto podem refletir o som como absorver. Isso causa efeitos imprevisíveis que podem diferenciar o som que ouvimos do equipamento numa sala anecóica, na loja e depois em nossa casa.

Para informação do leitor, a câmara anecóica é uma sala absorvente perfeita que é usada para testes de equipamentos de som nos laboratórios.

---

**Questionário**

1 - O curto-circuito acústico ocorre quando:

- a) Maior potência do que um alto-falante suporte é aplicada
- b) A impedância do amplificador não casa com a do alto-falante
- c) O som produzido na parte frontal do alto-falante anula o produzido pela parte traseira.
- d) O som da parte frontal reforça o da parte traseira

2 - Para operar num sonofletor fechado:

- a) O alto-falante deve ser de alta impedância
- b) O alto-falante deve ser de baixa impedância
- c) O alto-falante deve ter construção especial
- d) O alto-falante deve usar uma suspensão com molas

3 - O pórtrico é encontrado em que tipo de sonofletor

- a) Painel infinito
- b) Refletor de graves
- c) Sonofletor hermético
- d) Outros

## Lição 13 - CABOS E CONEXÕES DE SOM

Os cabos usados na interligação dos diversos equipamentos de som são parte de extrema importância na reprodução com qualidade. Como ligar e como escolher os cabos é o assunto desta lição.

Também ensinaremos o leitor a identificar os diversos tipos de conectores usados nos equipamentos de som.

Os equipamentos de som possuem diversos tipos de tomadas e conectores para sua conexão a outros equipamentos e formação de sistemas, além da ligação à dispositivos de entrada como microfones, cápsulas fonográficas, fontes de programa, etc.

Que tipo de cabo usar em cada ligação e como fazer a conexão certa pode trazer uma certa dificuldade ao instalador. Neste capítulo daremos informações importantes sobre cabos e tomadas usadas nos equipamentos de som, como fazer seu uso e sua instalação.

### 13.1 - Tipos de cabos

#### a) Cabos polarizados

Os alto-falantes possuem fase em lugar de polaridade, mas existe uma certa semelhança entre os dois termos. O que ocorre é que o movimento do cone de um alto-falante para frente ou para trás depende do sentido de circulação da corrente em sua bobina, conforme mostra a figura 273.

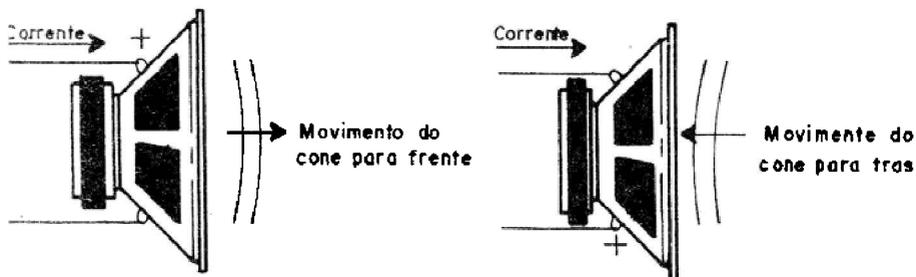


Figura 273 – Fase de um alto-falante

Se ligarmos diversos alto-falantes numa mesma saída é preciso que os movimentos de seus cones ocorram em fase, isto é, no mesmo sentido. Se um desses alto-falantes estiver com a ligação invertida, realizando um movimento contrário teremos um efeito danoso na reprodução do som, conforme sugere a figura 274.

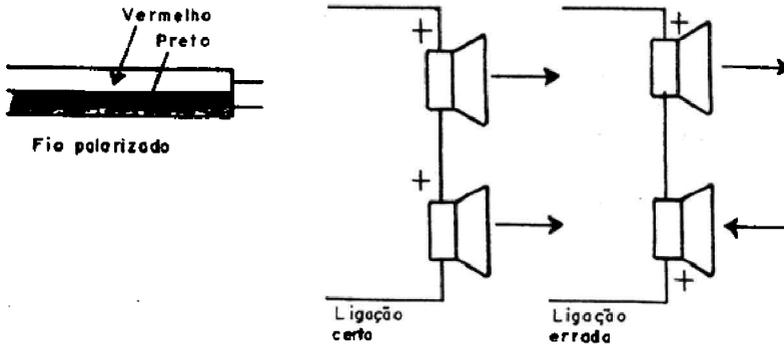


Figura 274 – Ligação de alto-falantes fora de fase e em fase

A marcação de polaridade nos alto-falantes (+) e a utilização dos cabos bicolores facilitam justamente estas ligações.

**b) Conectores de caixas acústicas**

Os conectores para as caixas acústicas podem ter diversos formatos, conforme mostrado na figura 275.

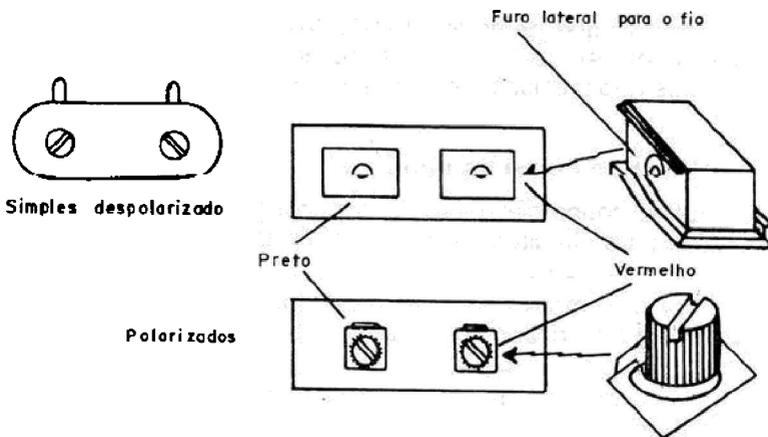


Figura 275 – Conectores de caixas

Estes formatos representam uma evolução do modo como a conexão é feita, indo desde o mais simples encontrados em equipamentos antigos.

Na figura 276 temos alguns conectores que podem ser encontrados nos tipos mais modernos de amplificadores e equipamentos de som.



Figura 276 – Mais conectores

Um dos tipos mais comuns é o par de bornes vermelho e preto, com encaixe dos fios e depois sua fixação por pressão por meio de botões plásticos ou ainda por um sistema de molas.

Outro meio de conexão mostrado figura 277 é a tomada DIN2 com plugue para alto-falantes.

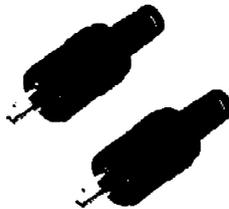


Figura 277 – Plugue DIN2

Nesta tomada e plugue o pino corresponde ao fio positivo ou vermelho, enquanto que o encaixe chato corresponde ao negativo ou fio preto.

Veja que o formato deste plugue e tomada impedem a inversão de polaridade na hora do encaixe. Este tipo de conector também pode ser encontrado em outras aplicações como, por exemplo, em algumas fontes de alimentação.

Na verdade, é preciso ter muito cuidado com a escolha dos conectores na hora de se fazer um projeto de som, pois se imprópria, pode ser causa de acidentes: se usarmos o mesmo tipo de plugue ou encaixe para as caixas acústicas e a fonte de alimentação, a conexão da fonte numa caixa causaria a imediata queima da bobina móvel do alto-falante, conforme ilustrado na figura 278.

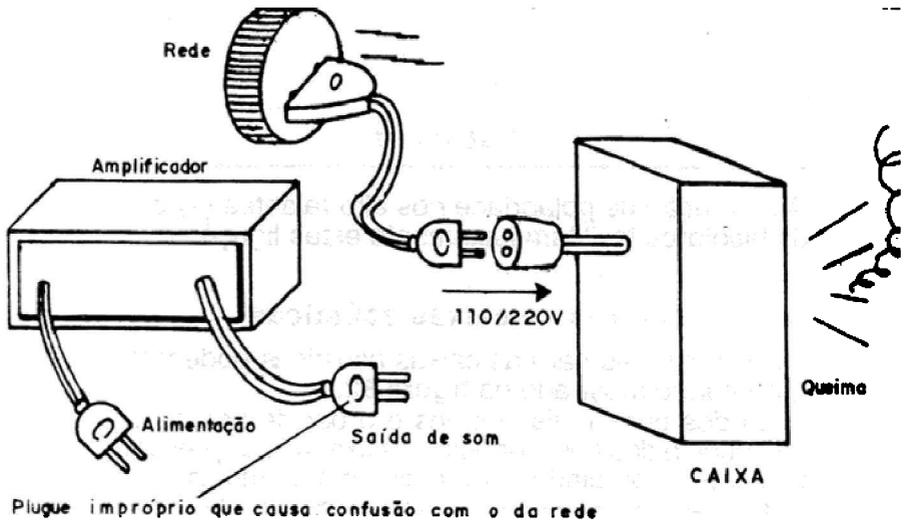


Figura 278 – Use plugues diferentes para as diversas funções

É comum o uso de conectores do tipo plugue e tomada de força nestas ligações improvisadas como, por exemplo, extensões de alto-falantes e eles podem causar sérios acidentes.

### Plugues e conectores apropriados

Use sempre plugues e conectores apropriados para conexões, quer seja de alto-falantes, quer seja de outros tipos de equipamentos e dispositivos.

Observe que, como os alto-falantes são dispositivos de baixa impedância, não existe problema de captação de zumbidos ou roncões por isso eles não precisam ser blindados.

No entanto, o comprimento dos cabos deve ser curto, para que não ocorram perdas na linha.

### c) Cabos coaxiais simples

Estes cabos são usados na condução de sinais de baixa intensidade para circuitos de alta impedância, ou seja, entradas de amplificadores muito sensíveis a ruídos.

Por este motivo eles são blindados. Na figura 279 temos a maneira como é fabricado um cabo deste tipo.

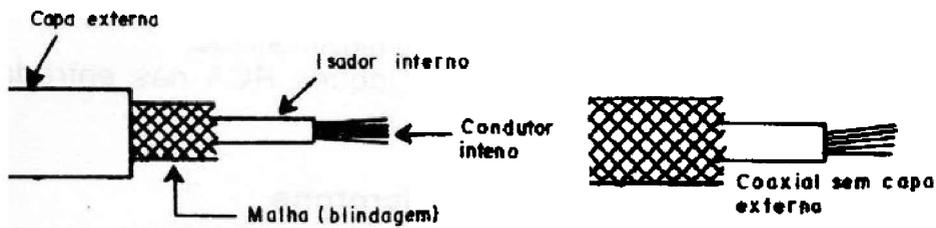


Figura 279 – Cabos coaxiais

Na parte interna temos o condutor principal ou “vivo” por onde passa o sinal propriamente dito. Este condutor principal é um cabinho (fio formado por muitos condutores finos entrelaçados para lhe dar flexibilidade) cuja espessura depende da aplicação.

Depois temos uma capa isolante plástica e por fora uma malha de fios finos entrelaçados formando o condutor externo ou blindagem.

Nos cabos coaxiais para instalação interna aos aparelhos pára-se por aí, mas nos que são usados externamente temos uma capa isolante adicional.

A capa isolante externa sempre deve ser ligada ao terra ou neutro do aparelho onde se aplica o sinal e de onde se retira o sinal para que a blindagem funcione. Sem esta conexão entram roncões que são captados pelo condutor interno.

A interrupção da malha ou do condutor interno é a causa de ruídos e roncões quando mexemos no cabo e que pode ocorrer com microfones, por exemplo.

Veja que o cabo coaxial simples tem apenas um condutor interno sendo usado com fontes monofônicas.

Para condução de mais de um sinal como, por exemplo, nos circuitos estéreo e mesmo de mais sinais, temos cabos duplos ou múltiplos, conforme mostra a figura 280.



Figura 280 – Cabo blindado duplo

### d) Plugues e jaques RCA

Estes são muito usados nas entradas dos amplificadores e com cabos coaxiais simples, conforme mostra a figura 281.

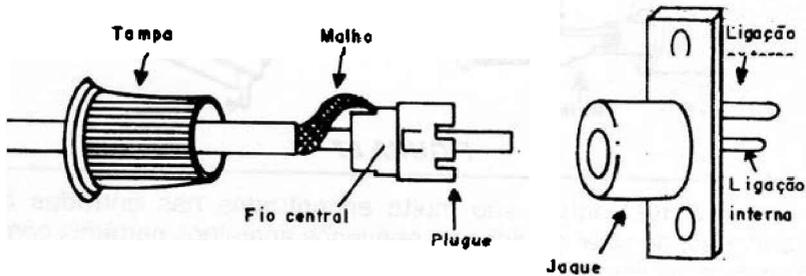


Figura 281 – Plugues e jaques RCA

Veja que o fio principal por onde passa o sinal deve ser conectado ao pino interno do jaque ou do plugue RCA, enquanto que a malha ou blindagem deve ficar na parte externa deste plugue ou do jaque.

Soldas bem feitas devem ser feitas para que maus contactos não provoquem ruídos quando o cabo é movimentado. Normalmente são usados jaques RCA nas entradas Auxiliares (AUX) dos amplificadores.

Na figura 282 plugues e jaques RCA modernos.

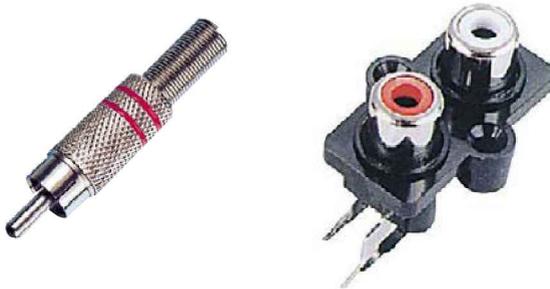


Figura 282 – Plugues e jaques RCA modernos

### e) Jaques e plugues de microfone

Também indicados para ligação em cabos coaxiais simples temos os jaques e plugues de microfone cujo aspecto é mostrado na figura 283.

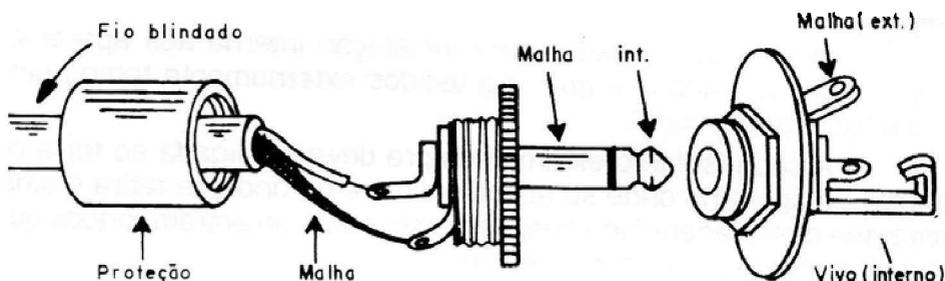


Figura 283 – Jaques e plugues de microfones

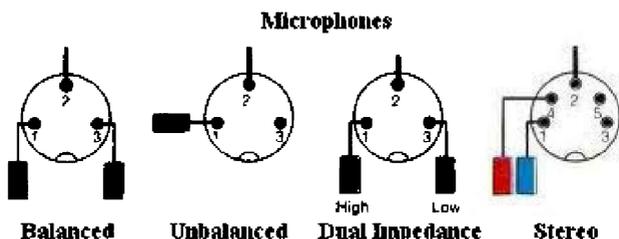


Figura 284 – Conectores DIN para microfones

### Outras aplicações

Mais adiante veremos o uso dos conectores DIN para outras aplicações.

Veja que os jaques e plugues são monofônicos, ou seja, operam com apenas uma entrada ou saída de sinal por cabo blindado.

A ligação do cabo é feita de modo que o condutor interno vá ao pino na extremidade do jaque e a malha à parte maior do pino, isso para o plugue. No jaque, a malha vai a parte externa que segura o jaque e o condutor interno ao contacto menor.

Para mais canais temos os conectores DIN.

### j) Jaques e plugues P2

Estes jaques e plugues têm a mesma aparência dos jaques e plugues para microfones, com a diferença de que são de menor tamanho, conforme mostra a figura 285.

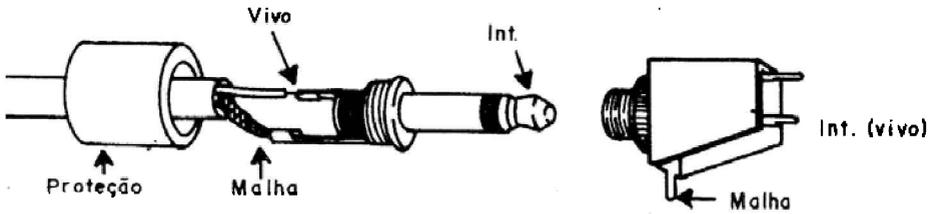


Figura 285 – Jaques e plugues P2

Estes jaques são muito encontrados nas entradas de microfones, de sinal e saídas de pequenos aparelhos portáteis como gravadora, walkman, rádios transistorizados, etc.

O modo de ligação do cabo coaxial é o mesmo do jaque e plugue para microfone, mas em alguns casos são usados fios comuns em lugar do cabo coaxial, quando não há problema de ruído.

Isso ocorre, por exemplo, em algumas fontes de alimentação que são conectadas externamente aos aparelhos que alimentam, por meio destes jaques e plugues conforme mostra a figura 286.

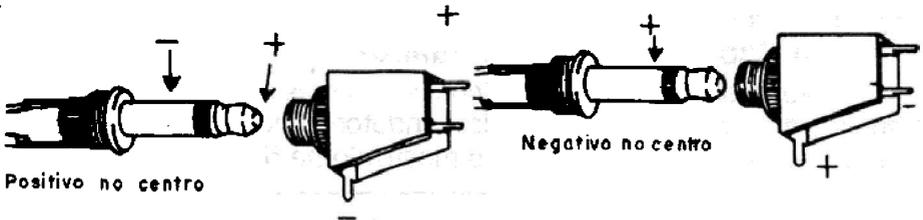


Figura 286 – Uso em fontes

Nestas conexões, entretanto, é preciso ter cuidado com a polaridade das ligações. Algumas fontes usam o positivo no pino central e negativo na parte externa do jaque, enquanto que outras são invertidas. Se vamos fazer uma adaptação ou vamos comprar uma fonte que use este tipo de pino, devemos verificar com cuidado esta polaridade, pois uma inversão pode ser perigosa para a integridade do aparelho.

Tipos menores ainda são disponíveis principalmente em equipamentos portáteis.

### k) Plugues e Jaques duplos

Um tipo comum de jaque e plugue encontrado principalmente em gravadores é o duplo miniatura com plugues e jaques de tamanhos diferentes, conforme mostra a figura 287.

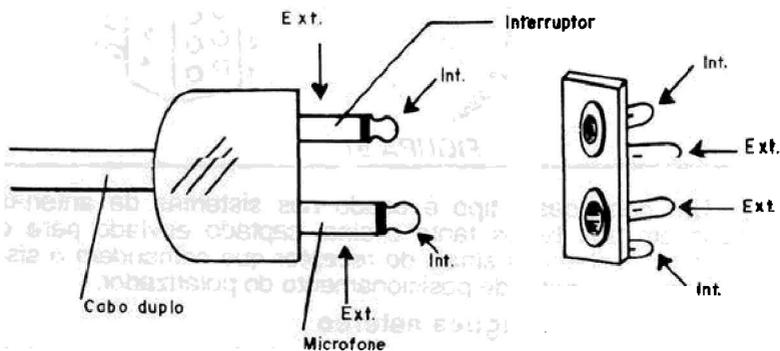


Figura 287 – Jaques e plugues duplos

Estes jaques são usados com dupla função.

O maior serve de entrada para o microfone, com conexão a um cabo blindado com a malha externa ao jaque, operando, portanto, com um sinal de baixa intensidade. O menor é conectado ao interruptor junto ao microfone que serve para acionar o motor do gravador e, portanto, comandar o instante da gravação. Este não precisa ser ligado com cabo blindado, no entanto, o fio usado normalmente é um cabo quádruplo ou triplo.

### 1) Cabos múltiplos blindados

Nos sistemas estereofônicos temos dois canais de som, o que significa que precisamos de dois condutores nos cabos blindados.

Temos então o tipo de cabo duplo mostrado na figura 288.

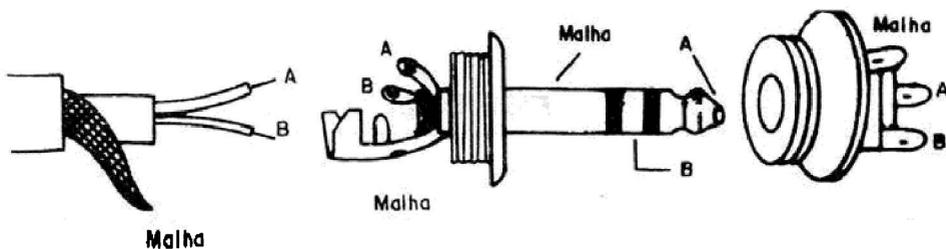


Figura 288 – Cabos múltiplos blindados

Veja que não precisamos de uma blindagem para cada cabo, podendo a malha que serve de blindagem para os dois ser única.

Cada condutor central é isolado e a malha deve ser sempre ligada a terra ou massa do circuito para que ocorra o funcionamento normal.

Em sistemas de muitos canais ou em que tenhamos diversos tipos de sinais (RF, áudio, etc.) podem ser usados cabos multi-canais ou multi-fios, conforme o mostrado na figura 289.



Figura 289 – Cabos multi-fios

Um cabo deste tipo é usado nos sistemas de antenas parabólicas em que temos tanto o sinal captado enviado para o receptor como também os sinais do receptor que comandam o sistema na antena e o motor de posicionamento do polarizador.

### m) Jaques e plugues estéreo

Para fazer o acoplamento de dois sinais usamos jaques e plugues especiais. Estes jaques e plugues são mostrados na figura 290.

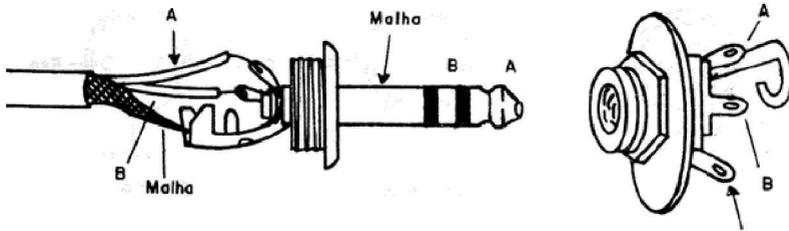


Figura 290 – Jaques e plugues estéreo

Neste tipo de plugue e jaque, a malha deve ser conectada ao elemento mais externo de modo a servir de blindagem. As lâminas no jaque e os anéis e ponta no plugue são ligados ao condutor central.

E preciso não confundir os jaques estéreo com os jaques do tipo circuito fechado que são encontrados nas saídas de rádios e gravadores.

Estes jaques para a ligação de fones também possuem três terminais, mas ele funciona ao mesmo tempo como um conector e como um interruptor, conforme mostra a figura 291.

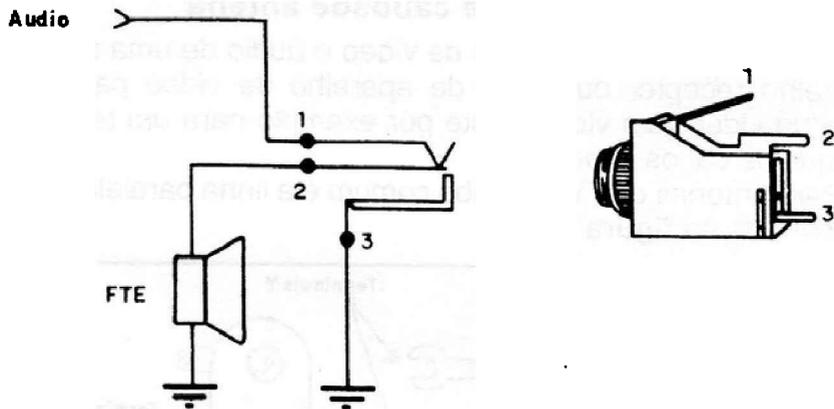


Figura 291 – Jaque tipo circuito fechado

Quando o plugue do fone é introduzido neste jaque o alto-falante é desligado automaticamente.

#### n) Tomadas DIN

Muito usadas em equipamentos de som, as tomadas e conectores DIN podem ter de 3 a 15 pinos. Estes conectores também são usados em monitores de vídeo, computadores e em todas as aplicações em que precisamos da conexão de muitos fios ao mesmo tempo. (figura 292)



Figura 292 – Tomadas DIN

Na figura 293 temos a identificação dos principais tipos, válida para equipamentos de som. Já vimos estas tomada antes para o caso de microfones.

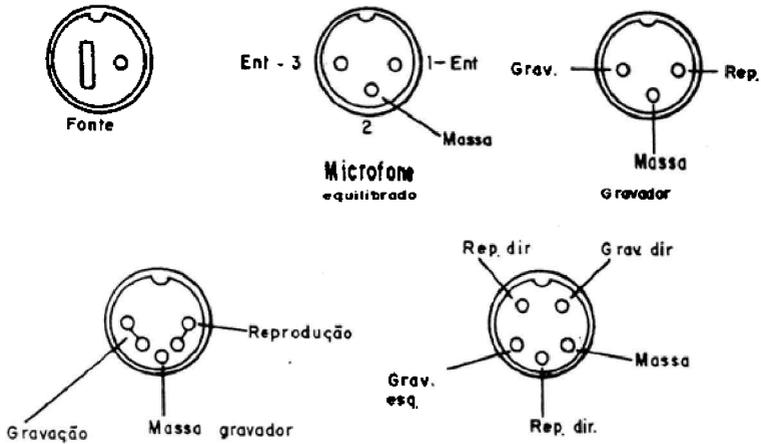


Figura 293 – Tomadas DIN

Para a conexão destes fios são usados cabos múltiplos que, dependendo da aplicação podem ser ou não blindados.

**o) Fitas de 300 ohms e cabos de antena**

Para transportar os sinais de vídeo e áudio de uma antena a um aparelho receptor ou então de aparelho de vídeo para outro aparelho de vídeo (um videocassete, por exemplo, para um televisor), precisamos de cabos especiais.

Para antenas de TV um cabo comum é a linha paralela de 300 ohms mostrada na figura 294.

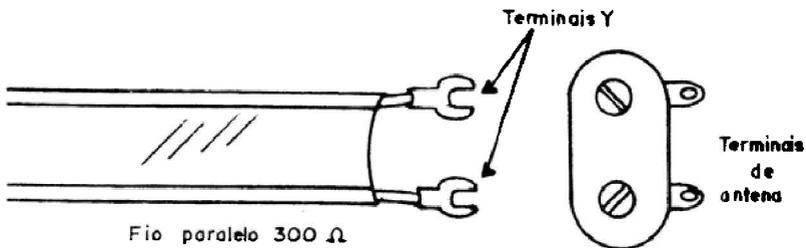


Figura 294 – Linha paralela de 300 ohms

Esta linha é indicada para curtas distâncias em locais de boa recepção onde não existam problemas de interferência ou ruído. Para longas distâncias ou locais com muitos problemas de interferências de ruído é indicado o cabo coaxial.

**Descontinuada**

As linhas de 300 ohms raramente são utilizadas em nossos dias, já que seu uso maior era com antenas de TV e FM da faixa de VHF e UHF do tipo analógico.

Este cabo sendo blindado não capta sinais por onde passa, reduzindo assim a possibilidade de captação de ruídos ou interferências locais figura 295.

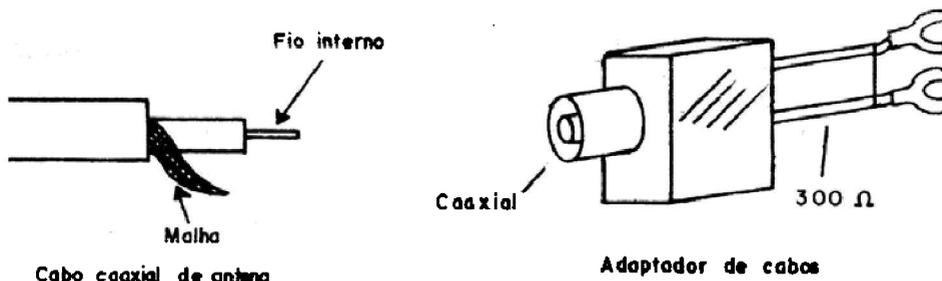


Figura 295 – Usando cabos de vídeo

É importante observar que os cabos coaxiais para TV e FM e vídeo possuem características diferentes dos cabos usados em áudio.

Ao adquirir os cabos para uma aplicação, o técnico deve distinguir se vai usá-lo em áudio ou vídeo. Um cabo de áudio, por exemplo, não serve para conectar o sinal de vídeo de um videocassete a um televisor. Perdas podem prejudicar a definição e mesmo as cores.

**p) Conectores de antenas**

Os conectores para cabos de antena dependem do tipo de cabo usado. Um dos mais simples é o terminal antena-terra mostrado na figura 296.

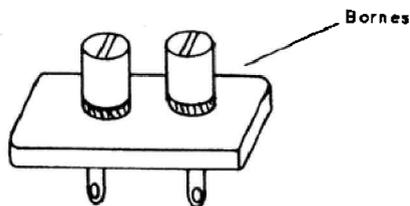


Figura 296 – Conectores de antenas

Veja que este conector prende as pontas dos fios com dois bornes plásticos ou parafusos. Para facilitar a fixação os fios podem ser dota-

dos de terminais em Y que são soldados.

Este tipo de conector é usado quando um receiver tem a faixa de AM e FM e precisa de uma antena externa.

Para o AM, na maioria dos casos, um pedaço de fio de 1 a 2 metros ligado no terminal de antena é suficiente para uma boa recepção.

Em outros casos, quando o usuário se encontra longe da estação, estes terminais devem ser ligados a uma antena externa e a uma boa terra.

Uma variação para este tipo de conector é o de encaixe em que temos dois pinos para um soquete. O macho deste conector é aberto e internamente são presos os fios da fita de 300 ohms conforme mostra a figura 297.

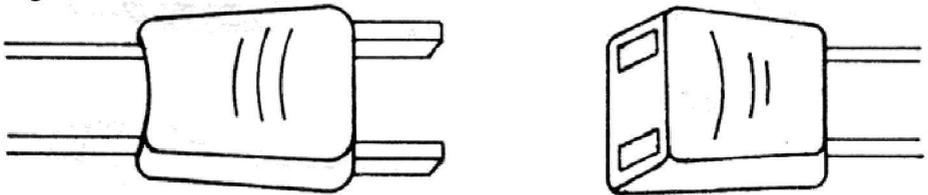


Figura 297 – Conector de antena

É importante observar que não podemos usar qualquer tipo de conector com cabos de antena. Os conectores usados normalmente tem sua estrutura estudada de modo a manter a impedância e com isso evitar problemas de reflexões ou perdas de sinais.

As reflexões causam imagens fantasmas, e nos demais aparelhos problemas de sensibilidade.

#### **Pouco usado**

Como as linhas de 300 ohms estes conectores praticamente não mais são usados.

#### **q) Conectores BNC**

Estes são usados com cabos coaxiais de antena de TV, FM e sinais de vídeo, conforme mostra a figura 298.

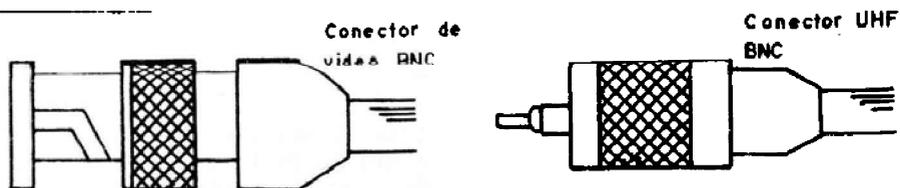


Figura 298 – Conectores BNC

Os sinais de vídeo, TV e FM devem ser transferidos através de cabos especiais em que temos o mínimo de perdas. Os conectores BNC de melhor qualidade são os que possuem contactos dourados, como os da figura 299.



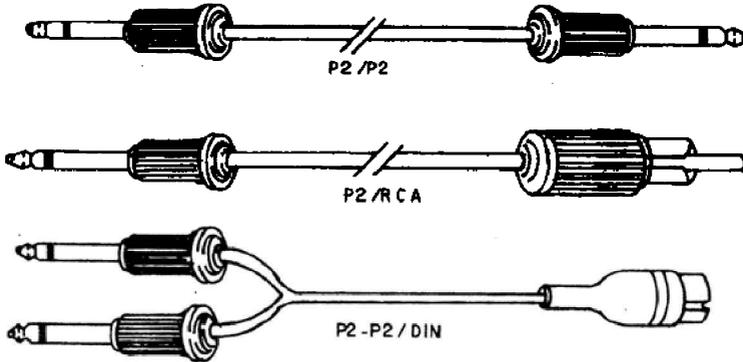
Figura 299 - Conectores BNC de alta qualidade

As baixas resistências destes conectores evitam perdas que no caso dos sinais de vídeo podem significar a diminuição da definição das imagens ou perdas de vivacidade nas cores, principalmente no vermelho.

### **r) Cabos de adaptação**

Quando desejamos transferir sinais de um aparelho para outro precisamos usar cabos que possuam plugues em suas extremidades de acordo com as entradas e saídas de sinais que desejamos interligar.

Para esta finalidade usamos cabos adaptadores que podem ser aquiri os com diversos tipos de conectores e plugues nas suas extremidades, conforme mostra a figura 300.



*Figura 300- Cabos adaptadores*

É preciso tomar muito cuidado com o tipo de cabo que vai usado numa aplicação diferenciando as aplicações em que temos sinais de vídeo e as em que temos sinais de áudio e ainda as de sinais de antena os mais críticos são os que trabalham com sinais de UHF onde a alta frequência pode ter atenuações e perdas que prejudicam o funcionamento de um aparelho.

Depois temos os cabos de vídeo e finalmente os menos críticos são os que operam com sinais de áudio e tensões de alimentação.

De qualquer maneira é preciso ter em mente que quanto maior for o comprimento do cabo, maiores serão as perdas nos sinais que vamos transferir. Se o sinal ia for fraco, uma perda pode significar a diminuição da qualidade abaixo de níveis aceitáveis.

Se isso ocorrer devemos pensar em usar meios de aumentar a intensidade do sinal antes de transferi-lo ao cabo, ou seja, devemos pensar no uso de pré-amplificadores ou boosters para compensar as perdas.

## 13.2 - Cabos e Fios (como testar)

Fios e cabos podem ser testados de diversas formas.

Com o provador de continuidade temos provas simples que permitem verificar se existem interrupções ou mal contactos, no entanto com o multímetro temos a possibilidade de realizar provas mais completas. A seguir as provas que podem ser feitas com o multímetro:

Em pedaços de fios ou condutores simples de qualquer comprimento (com capa isolante ou sem)

## Prova de Continuidade

Esta prova permite detectar interrupções ou mais contactos também causados por interrupções e também avaliar eventuais perdas de potência que podem ocorrer na transmissão de um sinal por este mesmo condutor.

### Procedimento:

Coloque o multímetro na escala mais baixa de resistências: OHMS x1 ou OHMS x 10 se for analógico. Para os digitais as escalas podem ser de 200 ohms ou 2000 ohms.

Zere o multímetro - para os digitais isso não é necessário

Meça a resistência entre as extremidades do condutor suspeito.

### Interpretação:

Resistência nula ou muito baixa - o condutor se encontra em bom estado. Resistência infinita - o condutor se encontra interrompido

Resistência variando - quando mexemos no condutor a agulha do multímetro se desloca ou os números do mostrador digital se alteram. Existe uma interrupção interna do condutor acompanhada de um mau contacto.

Veja esta prova na figura 301.

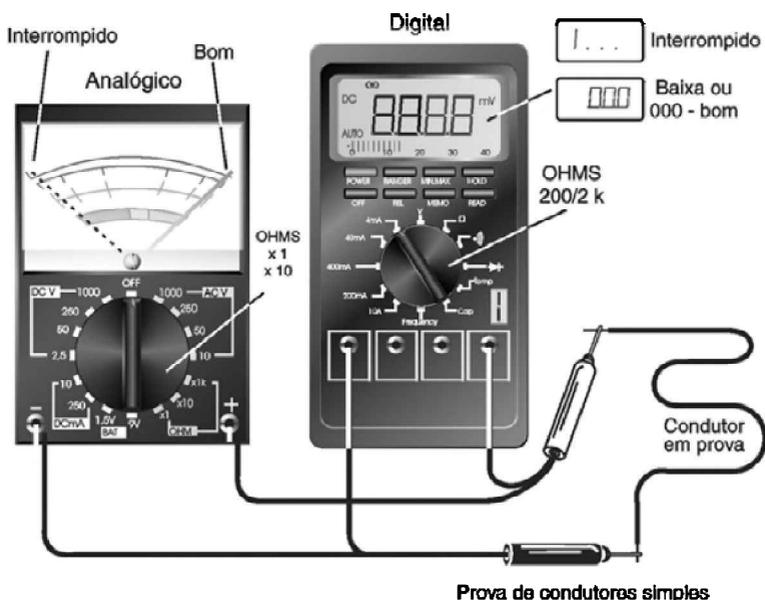


Figura 301 – Teste de continuidade de um fio

<b>Leitura</b>	<b>Condição</b>
Resistência nula ou muito baixa	bom
resistência infinita	interrompido
resistência variando	interrupção e mau contacto

**Observações:**

Condutores em bom estado devem apresentar uma resistência muito baixa.

Os valores dependem do comprimento e da espessura dos fios.

Para fios comuns, de até 20 metros de comprimento a resistência deve ser sempre inferior 1 ohm.

Para os fios esmaltados, a resistência varia bastante em função da espessura.

**Prove de Condutores Múltiplos****Tipo de Prova:**

De continuidade e curto em cabos paralelos e múltiplos (cabos de impressoras, redes, modems, etc.)

Com esta prova podemos detectar interrupções em cabos longos ou curtos, paralelos o múltiplos, embutidos ou não como, por exemplo, em instalações elétricas domiciliares, sistemas de intercomunicadores, redes de computadores, sistemas de som, cabos de microfones e antenas, cabos de impressoras, etc.

**Procedimento**

Coloque o multímetro na escala mais baixa de resistências: OHMS x1 ou OHMS x10 se for analógico. Para os digitais as escalas podem ser de 200 ohms ou 2000 ohms.

Zere o multímetro - para multímetros digitais não é preciso zerar

Una as pontas dos extremos distantes do cabo em prova. Se for múltiplo, escolha um cabo condutor de referência e una em cada prova o condutor provado com este cabo.

Meça a resistência entre o cabo provado e o de referência ou entre os fios unidos.

Na figura 302 mostramos como esta prova deve ser feita.

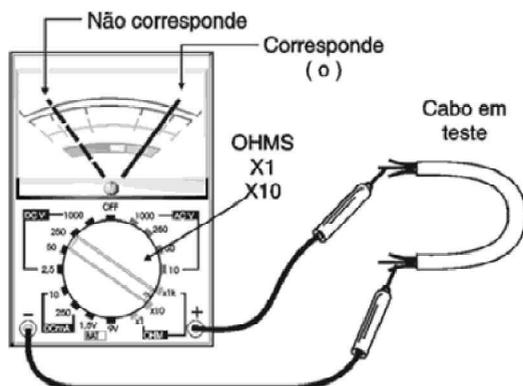


Figura 302 – Prova de Cabos

### Interpretação:

Resistência nula ou muito baixa - o cabo está perfeito sem problemas de interrupção.

Resistência infinita - existe uma interrupção num dos condutores. Se for múltiplo, uma nova prova tomando outro condutor como referência pode revelar se o provado ou o de referência que tem a interrupção. Resistência variando ou anormalmente alta - existe mau contacto ou interrupção acompanhada de problemas de penetração de umidade ou ainda contato com a canalização do fio (principalmente se for metálica). Nos instrumentos digitais a não fixação do valor é sinal que existem variações de resistência revelando mau contacto. O procedimento para a prova é, entretanto, o mesmo.

Leitura	Condição
Resistência baixa ou nula	Bom
Resistência infinita	Interrompido
Resistência muito alta ou variando	Interrompido ou mau contacto

### Observações:

O valor da resistência depende do comprimento e espessura do fio, podendo ficar entre fração de ohm até alguns ohms no máximo.

A prova individual de cada condutor pode também ser feita aproveitando-se a sugestão de prova de condutores simples em que se estabelece um retorno externo via qualquer objeto com conexão com a terra.

**Importante:**

Se houver um curto-circuito entre os condutores internamente à instalação, como sugere a figura 3, esta prova não revela sua existência.

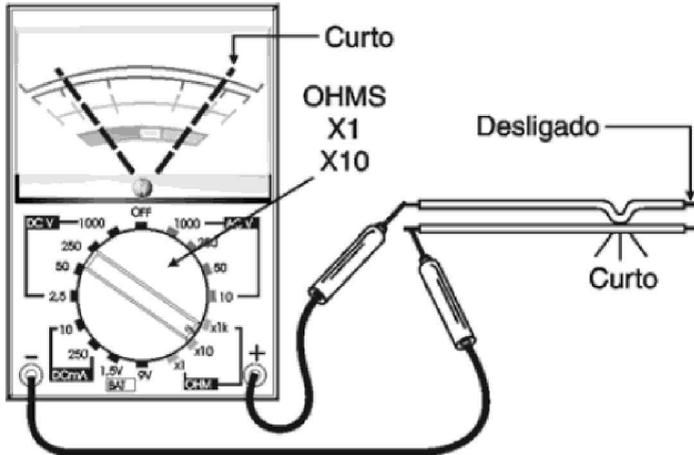


Figura 303 – Prova de cabos

Para a revelação de curtos existe outro procedimento que ensinaremos mais adiante, em outro tipo de prova. Para detectar curtos, basta medir a resistência sem a união dos cabos nas extremidades. Se for baixa é sinal que existe algum curto-circuito no percurso.

**Prova de Condutores – Fugas à terra****Tipo de Prova:**

Prova de isolamento com eventual contacto com o elemento de passagem ou terra.

Para cabos em instalações embutidas

Esta prova é interessante pois permite encontrar problemas de fugas em fios de instalações elétricas embutidos, redes e intercomunicadores e que estejam sujeitos a contactos invisíveis com objetos de metal ou ainda objetos em contacto com a terra.

**Procedimento:**

Coloque o multímetro numa escala intermediária ou alta de resistência como OHMS x100 ou OHMS x1k para os analógicos. Para os digitais use a escala de 20k ohms ou 200k ohms.

Zere o instrumento - para os digitais não é necessário.

Desligue os extremos do cabo que vai ser analisado. Não deixe suas pontas encostarem em qualquer objeto.

Ligue a ponta de prova preta do multímetro em qualquer objeto aterrado, como, por exemplo, um encanamento de água, uma placa de metal enterrada ou o pólo neutro da tomada.

Encoste a ponta de prova na ponta do condutor em teste e anote a resistência medida.

Na figura 304 temos o procedimento para esta prova.

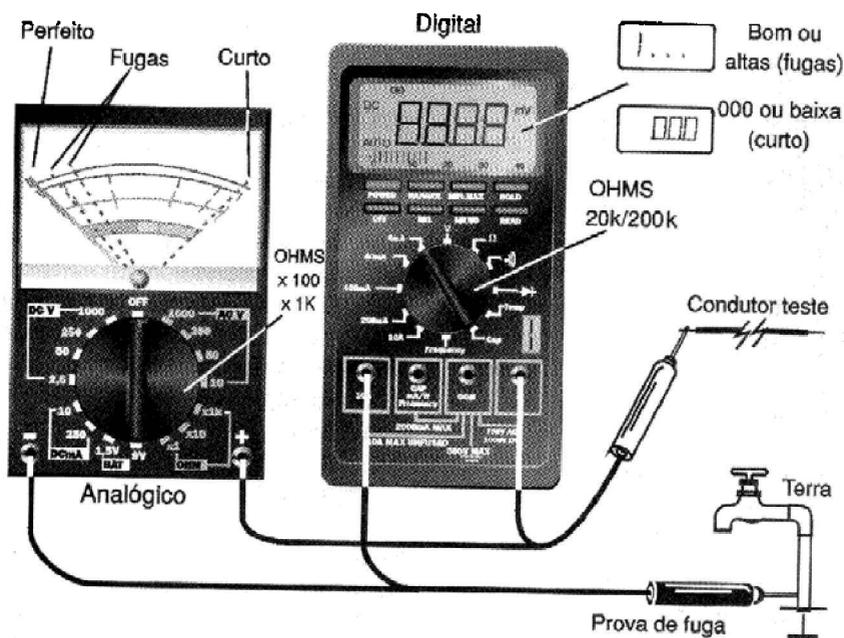


Figura 304 – Fugas à terra

### Interpretação:

Resistência muito alta (acima de 10 M ohms) ou infinita - o cabo se encontra com o isolamento perfeito.

Resistência na faixa de 200 k a 5 M ohms - existem fugas pequenas (toleráveis em alguns casos) para a terra, não havendo comprometimento (dependendo da aplicação).

Resistência na faixa de 1 k ohms a 200 k ohms - existem fugas perigosas para a terra as quais devem ser verificadas. Veja se não existe alguma emenda interna à instalação precisando ser refeita.

Resistência inferior a 1 k ohms ou mesmo nula - existe curto-circuito do condutor com qualquer objeto de metal ligado à terra (a canalização de metal por onde o fio passa, por exemplo).

<b>Leitura</b>	<b>Condição</b>
Acima de 10 M ohms	isolamento perfeito
Entre 200 k ohms e 5 M ohms	Pequena fuga
Entre 1 k ohms e 200 k ohms	Fuga perigosa
Abaixo de 1 k ohms	Curto-circuito

### **Observações:**

Numa instalação doméstica de energia a presença de fugas do tipo analisado, quando a resistência do condutor e a terra cai a valores muito baixos faz com que haja um desvio da energia que será perdida e até causar super-aquecimentos da instalação.

Fusíveis queimam sem motivo e conta de energia sobre assustadoramente.

Nos cabos de antena de TV (paralelos ou coaxiais) a presença de fugas prejudica a qualidade da imagem com uma recepção deficiente.

### **Importante:**

Se numa instalação de antena, de um cabo de distribuição de som ou ainda de intercomunicador e linha telefônica existir um transformador, como nos sistemas coletivos de antenas este tipo de prova não é válido.

Mais sobre testes de componentes, fios, plugues, etc. pode ser encontrado nos livros "Como Testar Componentes" - Volumes 1 a 4 de Newton C. Braga

### **Questionário**

1 - Os conectores RCA são usados principalmente em:

- a) Fontes de alimentação
- b) Conexões de antena
- c) Com sinais de áudio e vídeo
- d) Com sinais de alta frequência

2 - As tomadas DIN podem ter quantos pinos?

- a) 2
- b) 4
- c) Até mais de 4
- d) Nunca mais de 3

3 - Um jaque tipo circuito-fechado:

- a) Conectar a blindagem quando o plugue é inserido
- b) Desconectar o alto-falante quando um fone é inserido
- c) Serve de blindagem
- d) É usado apenas com circuitos estéreo

4 - Um cabo coaxial

- a) Deve ter a blindagem ligada ao positivo da fonte
- b) Deve ter a blindagem aterrada
- c) Deve ter a blindagem sempre livre
- d) Deve ter a blindagem ligada ao cabo de sinal do outro canal de um sistema estéreo.

## Lição 14 - FET - TRANSISTOR – VÁLVULA

### QUAL É O MELHOR PARA UM AMPLIFICADOR?

As características dinâmicas diferente dos principais componentes usados na construção dos amplificadores afeta também a qualidade do som que podemos obter, se bem que todos eles possam resultar em excelentes amplificadores, os usuários mais exigentes podem ter preferências que são justificadas por pequenos detalhes que às vezes nem sequer podem ser percebidos pelos nossos ouvidos.

### 14.1 - As Válvulas

No início só havia válvulas que passaram então a ser usadas na construção de amplificadores de som, inicialmente comuns e depois, com o desenvolvimento de tecnologias especiais para a construção tanto das válvulas como de transformadores entraram para a categoria denominada HI-FI ou High-Fidelity (Alta Fidelidade).

Estes amplificadores, com uma configuração típica de saída como a mostrada na figura 305 empregavam normalmente válvulas pentodo e transformadores ultralineaes que eram componentes bastante pesados.

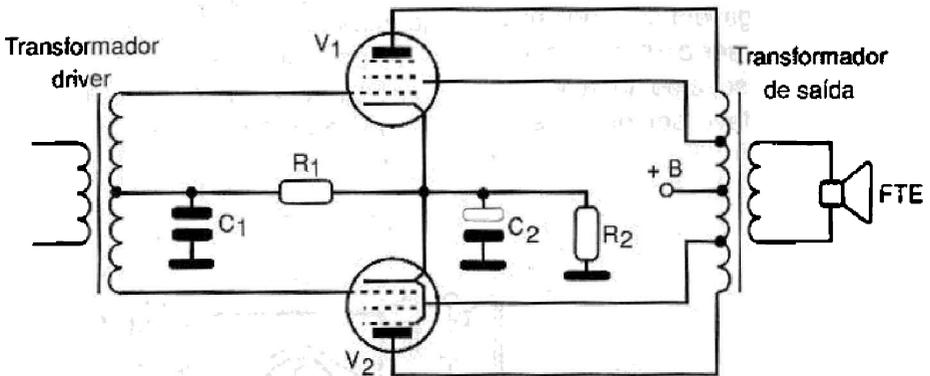


Figura 305 – Etapa de saída valvulada

Nas válvulas, um filamento aquece um catodo de modo que ele emita elétrons os quais são atraídos por um anodo polarizado por uma tensão positiva (entre 80 e 800 volts dependendo da potência).

O fluxo de elétrons entre o catodo e o anodo pode ser controlado por uma tensão (ou sinal) aplicado a uma grade. Na válvula pentodo

as outras grades (supressora e blindagem) são usadas como elementos auxiliares.

O resultado deste tipo de funcionamento é que a curva característica da válvula é a mostrada na figura 306.

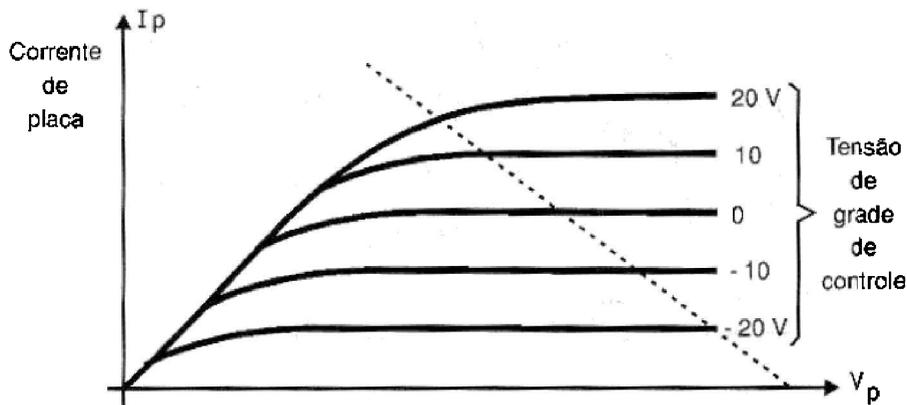


Figura 306 – Família de curvas de uma válvula

Por esta característica vemos que ela pode funcionar de uma forma bastante linear quando polarizada conveniente levando à uma amplificação de sinais de áudio com um mínimo de distorção.

Isso ocorre porque a faixa dinâmica de controle do fluxo de elétrons entre o anodo e o catodo ocorre entre tensões que variam entre 0 e um máximo.

## 14.2 - Os transistores bipolares

Os transistores bipolares, BJT, Darlington e outros equivalentes operam de um modo diferente.

Estes componentes apareceram em 1948 mas só se tornaram populares em amplificadores depois de 1955 quando os tipos de maiores potências se tornaram acessíveis.

As configurações iniciais foram muito semelhantes às empregadas nos circuitos com válvulas conforme podemos ver por uma etapa de saída mostrada na figura 307, mas logo surgiram as configurações sem transformadores (Simetria Complementar e Quasi-Complementar) como as mostradas na figura 4.

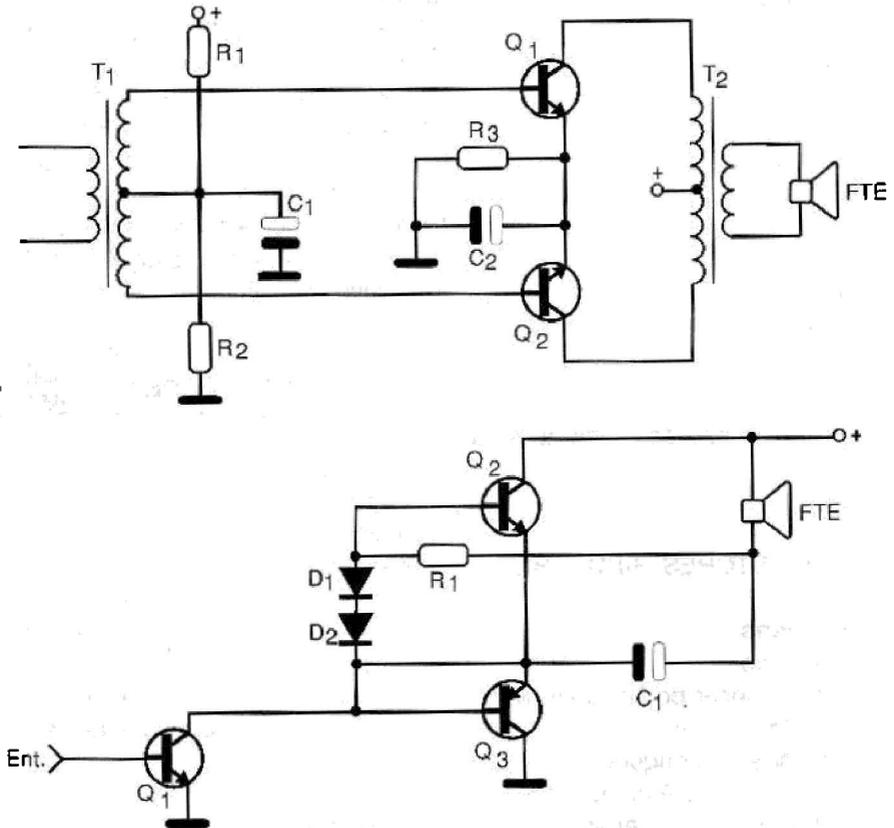


Figura 307 – Etapas transistorizadas

O transistor funciona de um modo diferente da válvula. No transistor temos uma corrente que flui entre o coletor e o emissor controlada por uma corrente de base (na válvula o que temos é uma tensão).

Assim, enquanto o transistor é um típico amplificador de corrente a válvula é um amplificador de tensão.

Mas, o problema mais grave é que os transistores só começam a conduzir quando uma tensão de pelo menos 0,6 V é aplicada na sua base.

Isso significa que na faixa de 0 a 0,6 V o transistor como amplificador apresenta uma "descontinuidade" em sua linearidade que afeta a fidelidade de um sinal amplificado, conforme mostra a figura 308.

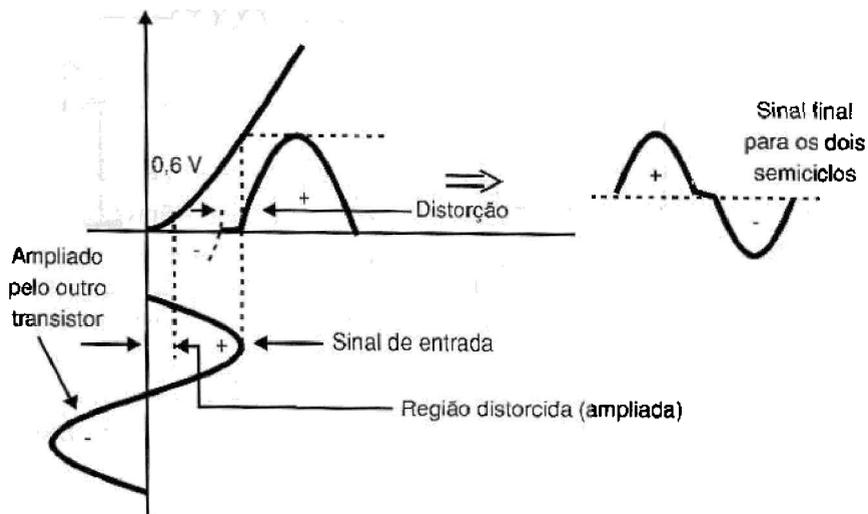


Figura 308 – A distorção do transistor

No entanto, projetos especiais bem feitos podem reduzir este efeito a um mínimo e os amplificadores transistorizados podem fornecer boas potências com excelente qualidade de som.

### 14.3 - Os MOSFETs

Os MOSFETS ou VMOS, TMOS, DMOS, NMOS, PMOS, IGFET ou seja lá como são chamados são transistores de efeito de campo de potência.

Estes componentes foram imaginados antes dos transistores bipolares comuns, mas só puderem ser fabricados depois e hoje são bastante populares.

Na figura 309 temos uma etapa de saída de um amplificador de áudio que utiliza este tipo de transistor.

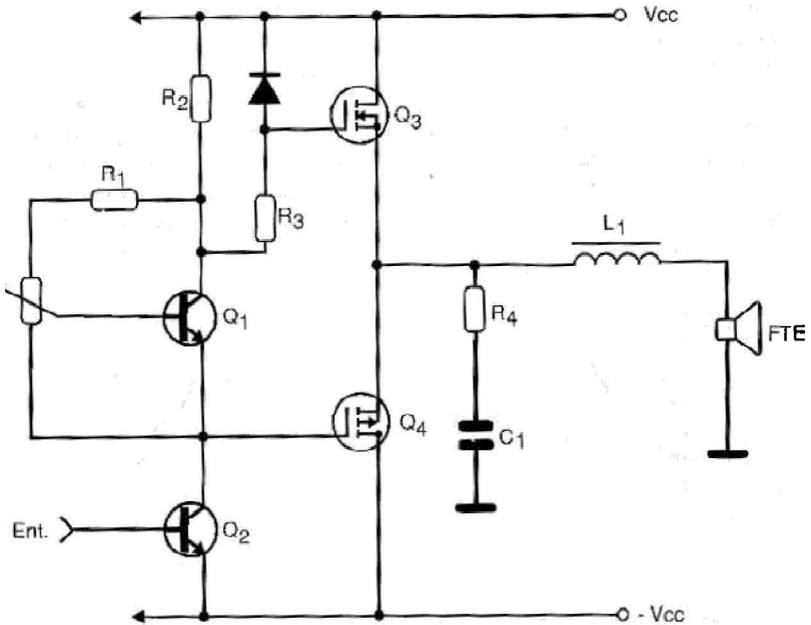


Figura 309 – Etapa com MOSFET

No FET de potência a corrente entre o dreno e a fonte é controlada pela tensão aplicada à comporta. Como as válvulas pentodo este componente não apresenta a descontinuidade que caracteriza o transistor bipolar e por isso é considerado um componente melhor para a amplificação de som.

De fato, muitos amplificadores que usam FETs de potência têm taxas de distorção muito menores dos que os equivalentes que usam transistores bipolares.

## 14.4 - As Diferenças finais

Mas, afinal qual dos componentes acima indicados é melhor para um amplificador?

Fazendo uma comparação podemos dar os pontos positivos e os negativos de cada um e o julgamento final fica por conta do leitor, pois ele também depende das necessidades de cada um e elas podem ser diferentes.

## **VÁLVULAS**

### **a) Vantagens:**

- \* Menor distorção

### **b) Desvantagens:**

- \* Necessidade de operar com altas tensões
- \* Necessidade de usar transformadores pesados
- \* As válvulas próprias para estes equipamentos são muito caras
- \* A válvula trabalha quente e uma boa parte da energia consumida pelo equipamento é para aquecê-la. Uma parte menor apenas é convertida em som.
- \* As válvulas são sensíveis a vibrações

## **TRANSISTORES BIPOLARES**

### **a) Vantagens**

- \* São baratos
- \* Podem fornecer potência elevada a baixo custo
- \* Não precisam ser aquecidos - o rendimento do circuito é bom convertendo uma boa parte da energia consumida em som.
- \* Não necessitam de transformadores em seus circuitos

### **b) Desvantagens:**

- \* Distorção pelo efeito do Cross-over
- \* Fragilidade: quando operam com alta tensão e alta corrente os transistores, devido ao que se chama segunda ruptura (second breakdown) podem queimar com facilidade.
- \* Deriva térmica - qualquer desequilíbrio no circuito causa aquecimento excessivo e queima.

## **MOSFETs DE POTÊNCIA**

### **a) Vantagens:**

- \* Possuem características semelhantes às válvulas com baixa distorção
- \* Têm alto rendimento convertendo a maior parte da energia consumida em som.
- \* Não precisam ser aquecidos
- \* Não necessitam de pesados transformadores em seus circuitos.
- \* Custo relativamente baixo.
- \* Podem operar com potências muito altas.

**b) Desvantagens:**

\* Elevada capacitância de entrada que limita sua resposta de frequência.

**CONCLUSÃO**

Mesmo os transistores podem ser usados em amplificadores de diversas formas ou "classes". Estas classes podem resultar em sons e rendimentos diferentes que os ouvidos mais sensíveis podem perceber.

A diferença entre os diversos tipos de amplificadores é ainda algo que causa muitas discussões entre os entendidos havendo aqueles que, quando encontram um amplificador ruim chegam a dizer que ele produz "som de transistor".

No entanto, amplificadores que usam novas configurações como as de classe D ou mesmo PWM podem resultar em sons tão bons quanto os melhores equipamentos a válvulas o que significa que a competição é grande.

Ainda mais se levarmos em conta que os adeptos da válvula não abandonaram este componente que já não é mais encontrado em aparelhos modernos como rádios, computadores, televisores (exceto pelo TRC) e outros.

Estes mesmos adeptos estão desenvolvendo mesmo nos dias de hoje novas tecnologias de válvulas que aparecem em amplificadores de altíssima qualidade (e altíssimo custo!) que podem ser vistos anunciados em revistas especializadas.

Numa destas revistas há poucas semanas, constatamos a existência de um amplificador de uns poucos 40 watts (20 por canal) usando válvulas com eletrodos (grades, anodo e catodo) revestidos de ouro a um preço superando as 1 200 libras! Levando em conta que a libra tem uma cotação maior que a do dólar hoje e que este preço é lá, o leitor pode fazer uma ideia...

Enfim, se o leitor deseja mesmo ter algo diferente, pensar como um conhecedor de som deve ficar atento às diferenças e não comprar um equipamento somente pelos "Watts" que ele pode dar de saída. Alta fidelidade e qualidade de som é muito mais que isso...

**14.5 - Trabalhando com Equipamentos Valvulados**

Estamos na era dos circuitos integrados que reúnem numa pequena pastilha de silício milhões de transistores. No entanto, muitos adeptos da eletrônica estão redescobrando o componente que deu origem a

tudo isso e que se julgava “enterrado” há muitos anos: a válvula.

Equipamentos a válvula, principalmente de som, estão sendo fabricados e vendidos a custos elevados, colecionadores estão pagando fortunas por amplificadores e outros equipamentos valvulados dos anos 30 aos 50, ou mesmo reprojitados e muitos leitores procuram avidamente válvulas de reposição para equipamentos antigos.

A velha válvula termiônica ou simplesmente válvula está sendo redescoberta por muitos adeptos da eletrônica. Este componente, volumoso, consumidor de muita energia, frágil e até mesmo caro tem, no entanto, atrativos que agora estão sendo observados com muito mais respeito por muitos especialistas em eletrônica.

Se você tem um velho rádio valvulado, relíquia de muito tempo, e que anda sendo chutado num canto úmido da oficina e até mesmo com a caixa quebrada, é hora de olhá-lo com mais respeito: ele pode ter muito mais valor do que você pensa!

Mas, não é só recuperar aparelhos valvulados que pode ser um bom negócio para o leitor dos velhos tempos o que tenha habilidade para tanto.

Equipamentos valvulados voltam a ser procurados em algumas partes do mundo pelas características que apresentam.

## **14.6 - Os Amplificadores Valvulados**

Nos anos 50 apareciam os amplificadores ultra-lineares valvulados. Eles consistiam no que de mais avançado havia em matéria de som de alta fidelidade.

Com um circuito de saída com válvulas em push-pull e pesados transformadores com núcleos de materiais especiais eles forneciam o som mais puro que era possível obter naquela época.

Na figura 310 mostramos o aspecto de um desses amplificadores com destaque para os pesados transformadores drive e saída que, conforme a potência chegavam a pesar mais de 5 kg cada um!



Figura 310 - Amplificador valvulado de alta qualidade (e altíssimo preço também).

A configuração básica era a mostrada na figura 305 em que se utilizavam duas válvulas pentodo em contrafase de modo que cada uma amplificava metade do ciclo do sinal de áudio.

O que chama a atenção nestes circuitos é que as válvulas possuem uma característica linear de amplificação diferentemente dos transistores comuns que possuem um trecho não linear no ponto em que começam a conduzir, conforme já vimos

O resultado dessa linearidade maior da válvula é a reprodução de um som mais puro, livre praticamente da chamada distorção harmônica que ocorre nos circuitos transistorizados.

Por mais elaborados que sejam os circuitos transistorizados, nunca se conseguiu eliminar completamente o problema da distorção causada por esta não linearidade dos transistores, e é em vista disso que surgiram os descontentes.

De fato, até hoje existem pessoas que "não aceitam" o som transistorizado afirmando que o som mais puro é o produzido por amplificadores valvulados. Para atender estes adeptos do som ultra-linear valvulado, que já desapareceu na maioria dos países, ficaram alguns fabricantes hiper-sofisticados que investiram em melhorar a velha válvula para aplicá-la em amplificadores que, segundo os próprios fabricantes e usuários, são infinitamente melhores que os modernos transistorizados.

Na figura 311 temos um destes amplificadores lineares cujo custo deixa qualquer um abismado!



Figura 311 - O amplificador da figura, da LAMM Industries custa a bagatela de 30 000 dólares!

Além de usarem pesadíssimos transformadores ultra-lineares que, sem dúvida alguma, impedem o uso portátil deste equipamento, as próprias válvulas usam uma tecnologia fantástica que nada lembra aos velhos rádios e amplificadores (vitrolas) dos anos 50 e 60.

As válvulas para redução do nível de ruído e melhora de suas características elétricas possuem eletrodos internos folheados a ouro! Não é preciso dizer que se trata da velha tecnologia trazida para nossos tempos.

Os adeptos deste som valvulado dizem que sua pureza nunca poder ser conseguida por qualquer equipamento transistorizado por mais caro ou sofisticado que seja.

Os circuitos em muitos casos chegam a ser híbridos com etapas de excitação, onde a influência da não linearidade do transistor pode ser evitada, transistorizados ou mesmo integrados e apenas as etapas de saída valvuladas. Na figura 312 temos um desses circuitos.

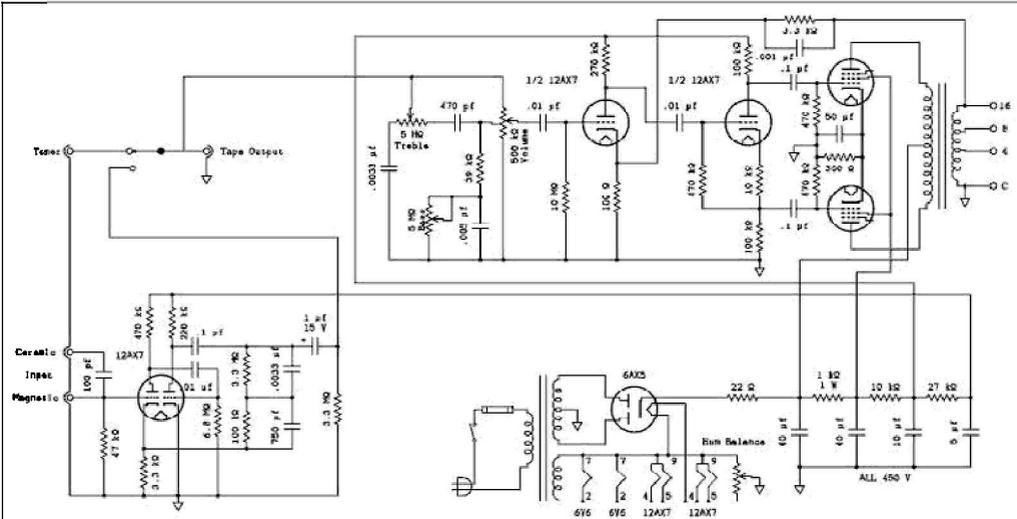


Figura 312 – Amplificador comercial antigo

É claro que a montagem hoje de um circuito deste tipo esbarra em alguns problemas como: onde conseguir os transformadores (deve haver alguém que saiba enrolá-los), ou ainda como fazer o chassi de metal para a montagem.

Para as válvulas não existe muito problema, pois muitas delas ainda existem para reposição em televisores que ainda as utilizam e mesmo alguns fornecedores ([www.reidosom.com.br](http://www.reidosom.com.br)).

## 14.7 - Recuperação d Valvados antigos (rádios e eletrolas)

Um outro campo interessante de atividades que começa a ser descoberto por técnicos e amadores da eletrônica é a recuperação de equipamentos antigos, principalmente rádios.

Casas de fazenda, de campo e mesmo residências em estilo antigo mantém mobiliário da mesma época recuperado com cuidado e não raro adquirido a preço elevado.

Da mesma forma que o mobiliário a presença de um rádio antigo, quer seja do tipo “capelinha” ou mais moderno é fundamental para acompanhar a decoração. Rádios dos anos 30, 40 ou mesmo 50 usando válvulas podem ser encontrados abandonados em muitos locais e a colocação de um equipamento destes em funcionamento pode significar muito dinheiro para quem conseguir.

Na figura 313 mostramos um destes rádios.



Figura 313 - Tradicional rádio tipo “capelinha” dos anos 1930.

Um rádio antigo funcionando, vendido como objeto de decoração, antiguidade ou mesmo pintado com cores exóticas para uma decoração diferente pode render muito dinheiro ao técnico caprichoso.

De fato, o preço do rádio não será o preço de sucata, mas sim o preço de raridade e isso pode significar muito mais do que o de um rádio equivalente moderno.

A sensibilidade do técnico ou do amador em descobrir um rádio destes fora de uso e saber a quem oferecer é importante para se ter êxito no negócio. Nos grandes centros, como São Paulo e Rio existem casas de antiguidades que certamente se interessariam por equipamentos deste tipo funcionando.

O interessante desses rádios é que a recuperação às vezes pode ser simples, como a simples troca de uma válvula. Os circuitos são simples, e os componentes diferentes das válvulas, especificamente os resistores e capacitores admitem equivalentes modernos. Por exemplo, qualquer capacitor de óleo ou papel de um rádio antigo pode ser substituído por um de poliéster metalizado de mesma tensão de trabalho. Na figura 314 mostramos o aspecto destes capacitores.



Figura 314 - Capacitor a óleo de um amplificador antigo.

Na recuperação o técnico deve apenas prestar atenção para a possibilidade de existirem peças danificadas mais difíceis de obter ou reparar como, por exemplo, as placas amassadas de um capacitor variável de sintonia. Capacitores duplos e até triplos, como o mostrado na figura 315 podem ser encontrados nestes rádios.

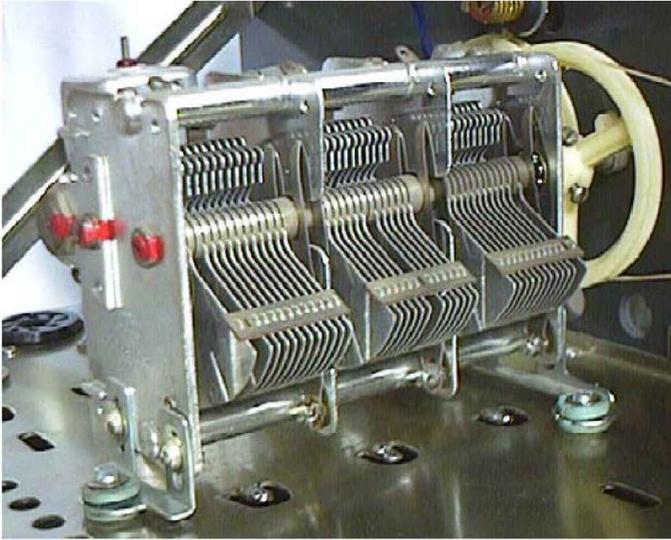


Figura 315 - Capacitor variável de três seções de rádio antigo

Batidas fortes ou mesmo quedas podem entortar as placas de metal forma que as placas do conjunto móvel passam a encostar nas placas do conjunto fixo quando o eixo de sintonia é girado. Isso não pode ocorrer.

Em alguns casos um simples ajuste do parafuso do eixo pode levar o conjunto a um funcionamento perfeito girando sem encostar mas se as placas estiverem tortas o problema é mais grave. Com sorte o técnico muito habilidoso pode desentortar uma ou outra dessas placas, mas para o conjunto todo é mais fácil tentar encontrar um variável em bom estado num outro rádio antigo abandonado.

Para a ferrugem do chassi uma boa lixada e depois envernizamento pode ajudar a dar uma aparência nova e para a caixa de madeira, o tratamento com verniz pode dar um aspecto de novo a um aparelho abandonado há muito tempo.

A calibração do circuito é feita da mesma forma que os receptores transistorizados convencionais já que o circuito é equivalente. A única diferença na maioria dos tipos está no fato de que em cada etapa te-

mos uma válvula em lugar do transistor e que o transformador de FI e bobinas são de maior porte.

Também pode ocorrer de encontrarmos frequências de FI diferentes de 455 kHz, como é comum nos rádios AM modernos. Valores como 815 kHz, 560 kHz não são raros.

### **Questionário**

1 - As válvulas são típicos:

- a) Amplificadores de tensão
- b) Amplificadores de corrente
- c) Amplificadores de baixa potência
- d) Dispositivos osciladores

2 - Em relação aos transistores, a tensões de anodo das válvulas são:

- a) Iguais
- b) Bem mais baixas
- c) Mais altas
- d) Não precisam de tensão para funcionar

3 - Um fenômeno que ocorre nos circuitos transistorizados e não nos circuitos com válvulas que as torna mais lineares na amplificação é:

- a) A operação com altas correntes
- b) A distorção por crossover
- c) A frequência de corte mais alta

d) O fato de trabalharem quentes

4 - Os transformadores usados nos circuitos de saída de áudio dos amplificadores valvulados são:

- a) São componentes leves e baratos
- b) São componentes fáceis de obter
- c) São componentes caros e pesados
- d) São componentes que admitem equivalentes

### Questionários – Respostas

<b>Lição 1</b> 1-1 2-c 3-a 4-d	<b>Lição 2</b> 1-b 2-c 3-c	<b>Lição 3</b> 1-b 2-b 3-c 4-d 5-c	<b>Lição 4</b> 1-b 2-c 3-b 4-b	<b>Lição 5</b> 1-c 2-c 3-a 4-b 5-a 6-a	<b>Lição 6</b> 1-b 2-c 3-d 4-a 5-c	<b>Lição 7</b> 1-a 2-c 3-c 4-c 5-a
<b>Lição 8</b> 1-b 2-c 3-b 4-b	<b>Lição 9</b> 1-b 2-b 3-c	<b>Lição 10</b> 1-a 2-b	<b>Lição 11</b> 1-c 2-a 3-c 4-c 5-b	<b>Lição 12</b> 1-c 2-c 3-b	<b>Lição 13</b> 1-c 2-c 3-b 4-b	<b>Lição 14</b> 1-a 2-c 3-b 4-c