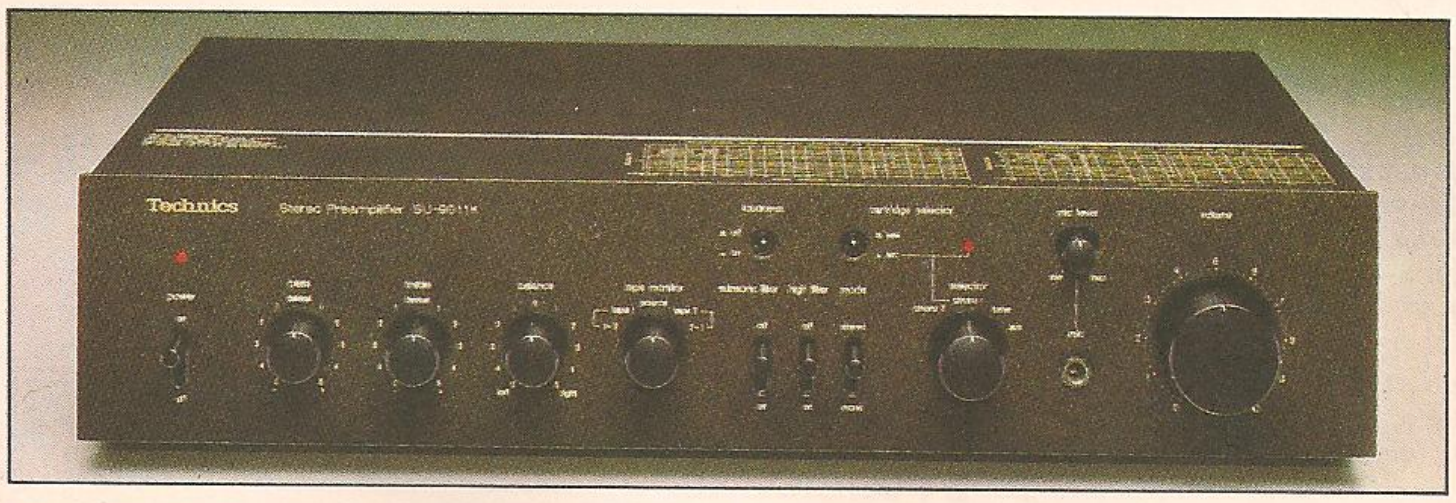
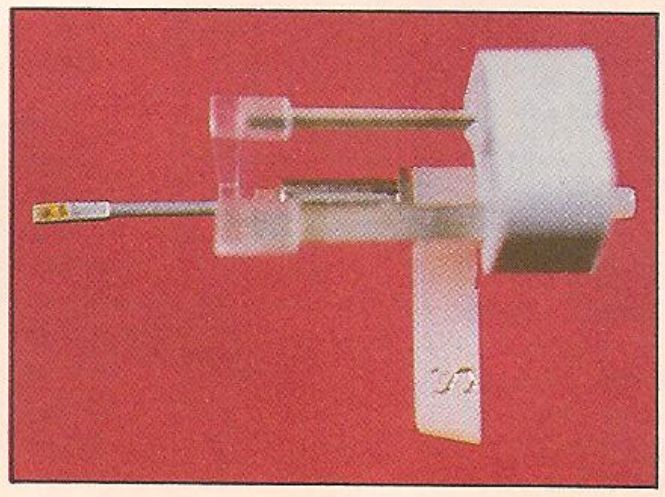
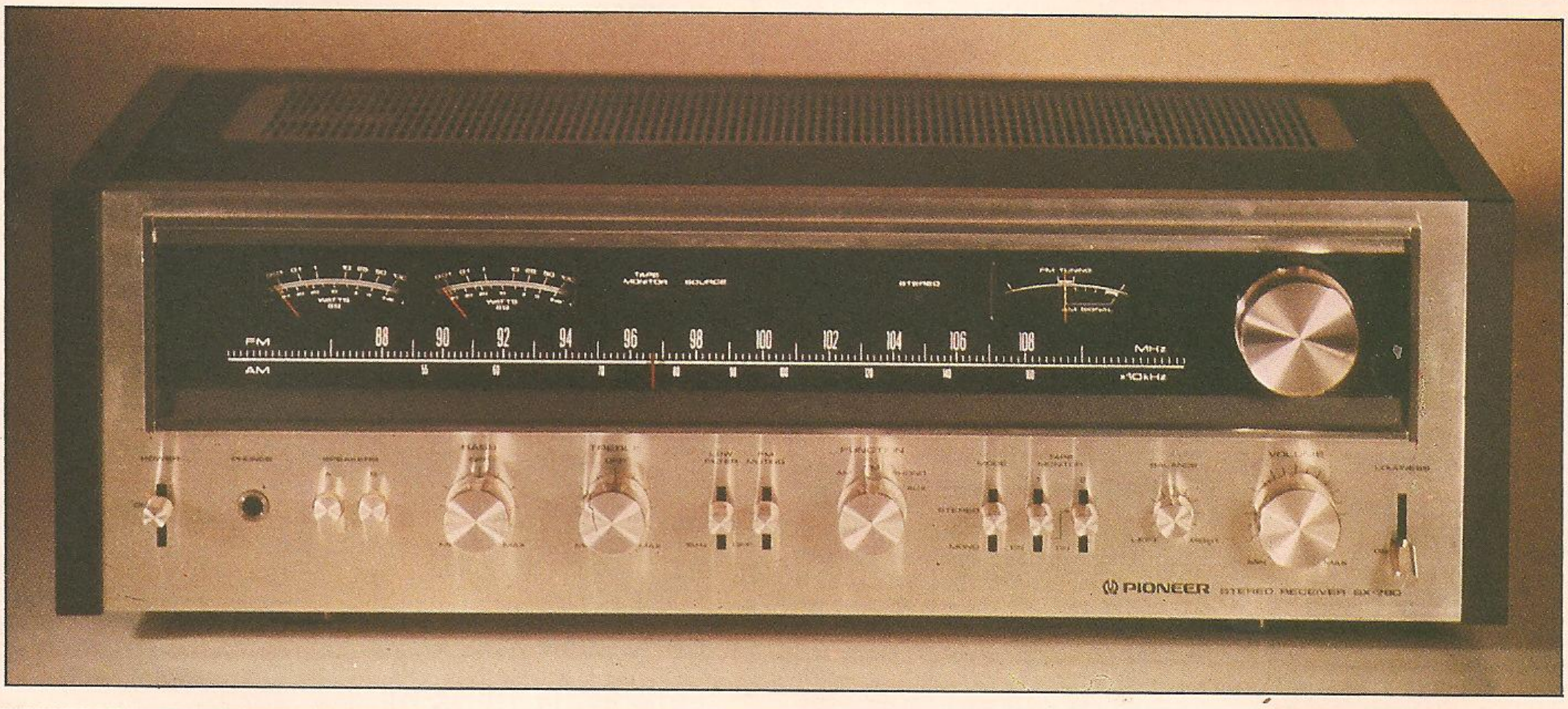
ELETRÔNICA

38 **PASSO A PASSO** Cr$ 4.300

Abril Cultural







INSTRUMENTAÇÃO

O AMPLIFICADOR
A CÁPSULA FONOCAPTADORA
O COMPLEXO HI-FI
O FUNCIONAMENTO DA CAIXA ACÚSTICA

GRANDE CONCURSO
O SELO VALE MILHÕES
Abril Cultural Abril Cultural Abril Cultural Abril Cultural
Colecione fascículos
O patrimônio cultural de sua família

Promoção válida somente no território brasileiro

O AMPLIFICADOR (1)

Entre o sinal de áudio e o alto-falante existe um equipamento de importância fundamental: o amplificador. Conheça-o agora.

O amplificador de alta-fidelidade é uma aparelhagem com um grande número de adeptos e que hoje faz parte dos equipamentos sonoros domésticos. Por outro lado, esse equipamento é indispensável em uma instalação profissional de som. Ele constitui o passo intermediário entre a fonte do sinal de áudio e o alto-falante. O amplificador tem como função básica elevar a potência dos sinais que chegam à sua entrada até o nível exigido pelos alto-falantes.

Desde os terminais de entrada até os de saída de um amplificador, o sinal sofre uma série de transformações. Em primeiro lugar, os sinais são amplificados até um determinado nível para poderem ser manejados mais facilmente. Esse trabalho é feito pelo pré-amplificador.

O pré-amplificador

Nesse circuito atua a maioria dos comandos exteriores. Mas esses comandos podem ser considerados como parte integrante do pré-amplificador, pois o sinal pode ser manejado e modificado. Posteriormente, faz-se a regulagem da tonalidade do volume de audição e, se o sistema for estereofônico, faz-se o equilíbrio entre os canais.

A amplificação de potência

Depois que o sinal está devidamente tratado, modificado e corrigido, resta elevar sua potência para que possa ser enviado para o alto-falante. A etapa seguinte é a amplificação de potência, onde a saída é a própria saída do amplificador. A amplificação de potência não modifica mais a forma de onda do sinal, a não ser em casos muito especiais.

No mercado podem ser encontrados pré-amplificadores e amplificadores de potência que funcionam como equipamentos separados, já que do ponto de vista elétrico desempenham papéis bem diferentes. No entanto, o mais comum é que estejam conjugados, mesmo que conservem suas características específicas.

As entradas

Através dos conetores de entrada liga-se o pré-amplificador aos equipamentos externos que fornecerão o sinal de áudio (o amplificador encarrega-se somente de aumentar a potência do sinal, ou seja, não gera sinal algum). Porém, quais são as fontes de sinal de áudio que podem ser conetadas? Em primeiro lugar, uma fonte que está pre-



ACIMA: tipos diferentes de amplificador. Todos têm como função básica elevar a potência do sinal que recebem, para que os alto-falantes reproduzam o som em nível adequado.

ABAIXO: parte posterior de um equipamento com os conetores. Estes servem para introduzir o sinal no pré-amplificador a partir do equipamento desejado: toca-discos, rádio, cassete, etc. Cada um deles possui sua própria entrada, adequada às características do equipamento em que é ligado.



sente em todos os equipamentos musicais: o toca-discos (***pick-up***, em inglês). As entradas do amplificador de áudio são marcadas com a denominação FONO, PHONO ou PU (iniciais da palavra pick-up). Às vezes, emprega-se também a denominação CÁPSULA ou alguma abreviatura. A melhor forma, porém, de nomear essa entrada é a última — cápsula —, já que é realmente esta a parte do toca-discos que é ligada ao pré-amplificador. A cápsula ou cabeça fica no braço do toca-discos e é a peça na qual se coloca a agulha.
Existem diversos tipos de cápsulas: de cerâmica e de cristal (ou piezelétricas), magnéticas (com diversos tipos de funcionamento) e de bobina móvel (que se baseiam em princípios eletromagnéticos). Enquanto os dois primeiros tipos fornecem um sinal de maior amplitude, os dois últimos dão um sinal de menor amplitude, porém de qualidade bastante superior. (NOTA: No capítulo As Cápsulas Fonocaptadoras (pp. 757/760), o leitor encontrará maiores informações a respeito do assunto.)



ACIMA: uma entrada que nunca falta em qualquer amplificador é a do toca-discos. Seja qual for o tipo de cápsula empregada, sempre haverá uma entrada preparada para ele.

ABAIXO: entrada para os aparelhos de fita, com a possibilidade de se ligar dois gravadores diferentes ao mesmo pré-amplificador.



Hoje, os toca-discos de qualidade média ou alta são equipados com cápsulas magnéticas e alguns deles (atualmente, são poucos) com cápsulas de bobina móvel. Este último tipo quase sempre precisa de um "pré-amplificador" adicional, devido à extrema debilidade do sinal que fornece. Este pré-amplificador do pré-amplificador está, de um modo geral, colocado no próprio toca-discos.
Ao contrário, as cápsulas cerâmicas e de cristal são montadas nos toca-discos em que as exigências de qualidade não são essenciais. Deve-se dizer que essas cápsulas são bastante aceitáveis, já que representam os tipos que maior aplicação encontram nos últimos 10 ou 15 anos. Sem dúvida, porém, as cápsulas magnéticas oferecem uma melhor qualidade (assim como um preço mais elevado).
É importante ligar a cápsula à sua entrada correspondente, pois, de outra forma, pode-se fazer com que o pré-amplificador trabalhe em condições diferentes daquelas para as quais foi projetado, o que significa um rendimento muito inferior ao previsto. Isso não provoca danos no equipamento (nem no toca-discos), mas ele deixa de operar nas condições projetadas.
As entradas para cápsulas de cristal são marcadas com a denominação XTAL, PIEZO ou CERAM, enquanto as magnéticas vêm marcadas com PU MAG ou abreviatura semelhante. Quando há diferença entre a cápsula magnética e a de bobina móvel, a primeira é marcada com MM e a segunda com MC.
Se o pré-amplificador não possui especificação sobre o tipo de cápsula a ser ligada, com certeza será uma cápsula magnética. E não devem ser incluídas as entradas de toca-discos que possuem rádios, onde sempre devem ser ligadas as cápsulas cerâmicas ou de cristal para se obter uma resposta correta.
Vejamos outro tipo de entrada: a do toca-fitas. As denominações habituais podem ser FITA ou TAPE e valem para os dois tipos de equipamento de fita: os de rolo e os de cassete.
O toca-fitas precisa de uma conexão dupla: uma delas é para o toca-fitas fornecer o sinal de áudio ao pré-amplificador — e este ao amplificador de potên-

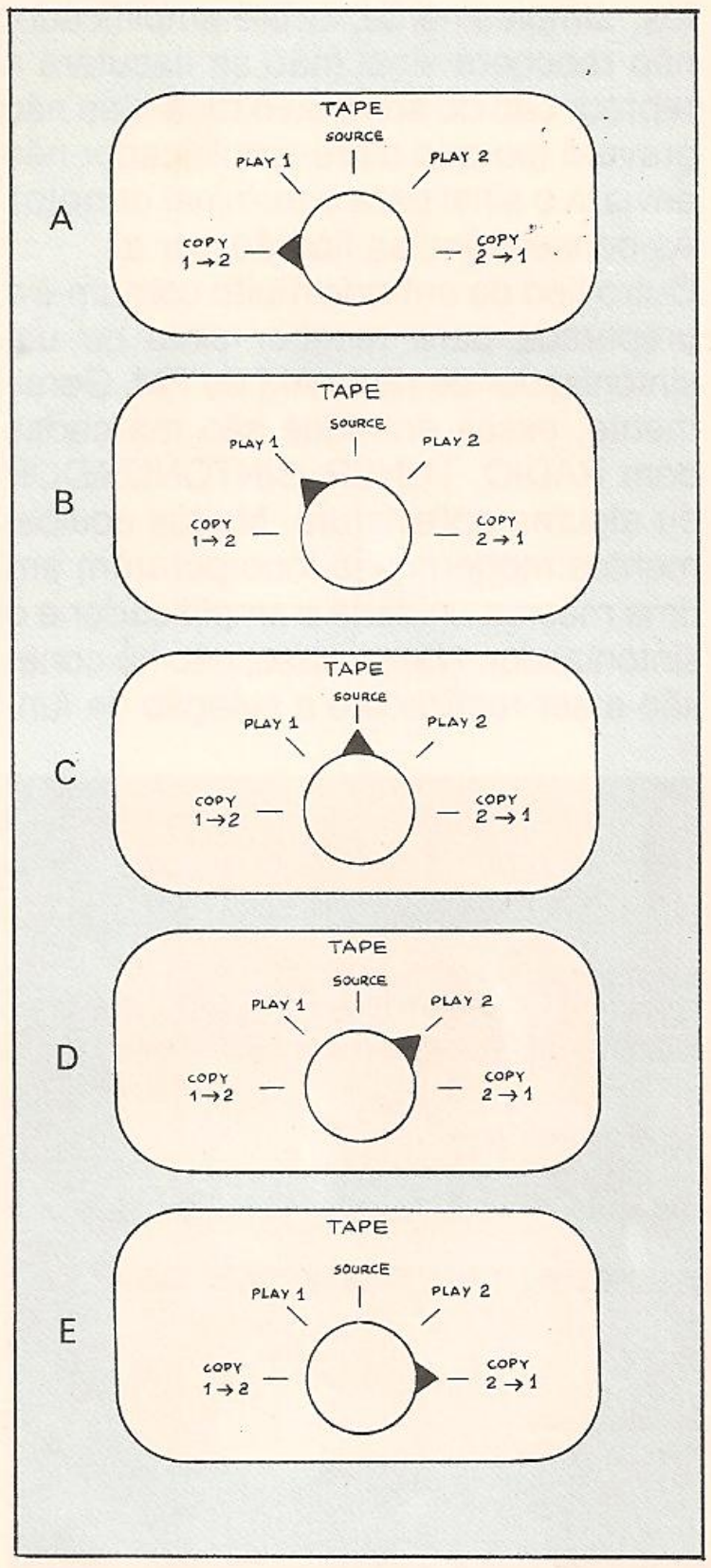
cia — e a outra para que o pré-amplificador forneça sinal ao toca-fitas e este possa gravá-lo (nos equipamentos estereofônicos é mais comum a ligação com quatro pontos). A primeira conexão leva o sinal ao pré-amplificador quando o toca-fitas encontra-se na forma de reprodução (***play-back***, em inglês, muitas vezes abreviado para PLAY ou PB). A segunda conexão leva o sinal para o toca-fitas quando este está preparado para a gravação (***recording***, em inglês, que pode ser abreviado para REC). Muitos equipamentos atuais, inclusive os de tipo médio, possuem a capacidade de ligar dois toca-fitas ao mesmo pré-amplificador, sendo ambos do mesmo tipo ou não. Com isso, surge a possibilidade de um deles gravar o sinal enviado pelo outro.

Muitos equipamentos costumam incorporar tanto o conetor DIN como o CINCH para o toca-fitas, mas apenas uma dessas possibilidades de conexão (qualquer uma delas) deve ser utilizada para um mesmo aparelho de fitas. Os equipamentos que são preparados para receber dois toca-fitas diferentes costumam ter uma entrada de tipo CINCH (que é preferencialmente utilizada para gravadores com fita de rolo) e outra com os dois tipos de ligação (geralmente utilizadas pelos gravadores cassete). Quando se utiliza o conetor DIN, não é necessário preocupar-se muito se as ligações estão corretas ou não. Os cabos internos já vêm montados de forma certa da própria fábrica. Pode surgir alguma confusão quando se utiliza o tipo CINCH pois, se os equipamentos são do tipo estereofônico, deverão existir quatro ligações de um lado e quatro do outro. Não é necessário perder a calma pois, com um pouco de paciência, pode-se resolver rapidamente o problema.

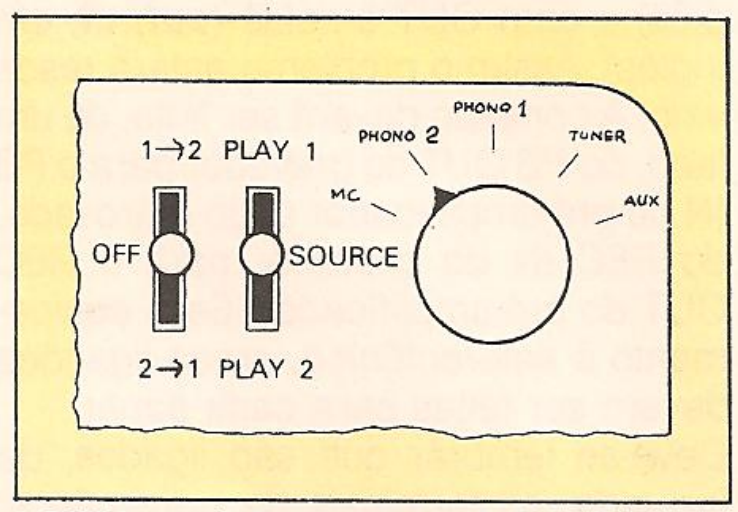
Para se fazer a conexão correta, deve-se considerar apenas duas coisas:

- para que o pré-amplificador possa reproduzir o sinal do gravador, este deve sair do toca-fitas e entrar no pré-amplificador;
- para que o gravador possa gravar o sinal que é enviado pelo pré-amplificador, este deve sair do pré-amplificador e entrar no toca-fitas.

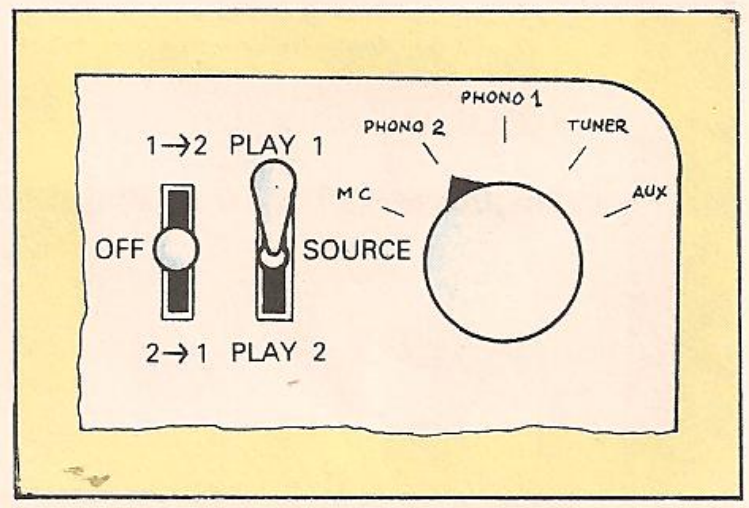
Como já dissemos, são utilizadas as abreviaturas PB para reprodução e REC para gravação. Além dessas, marca-se com IN a entrada (***input***, em in-



ACIMA: na figura C, o pré-amplificador não reproduz o sinal de nenhum gravador. Na B, reproduz o sinal do gravador 1 e na D, do 2. Na A, o sinal do gravador 1 é enviado ao 2, enquanto na figura E o sinal vai do 2 para 1.

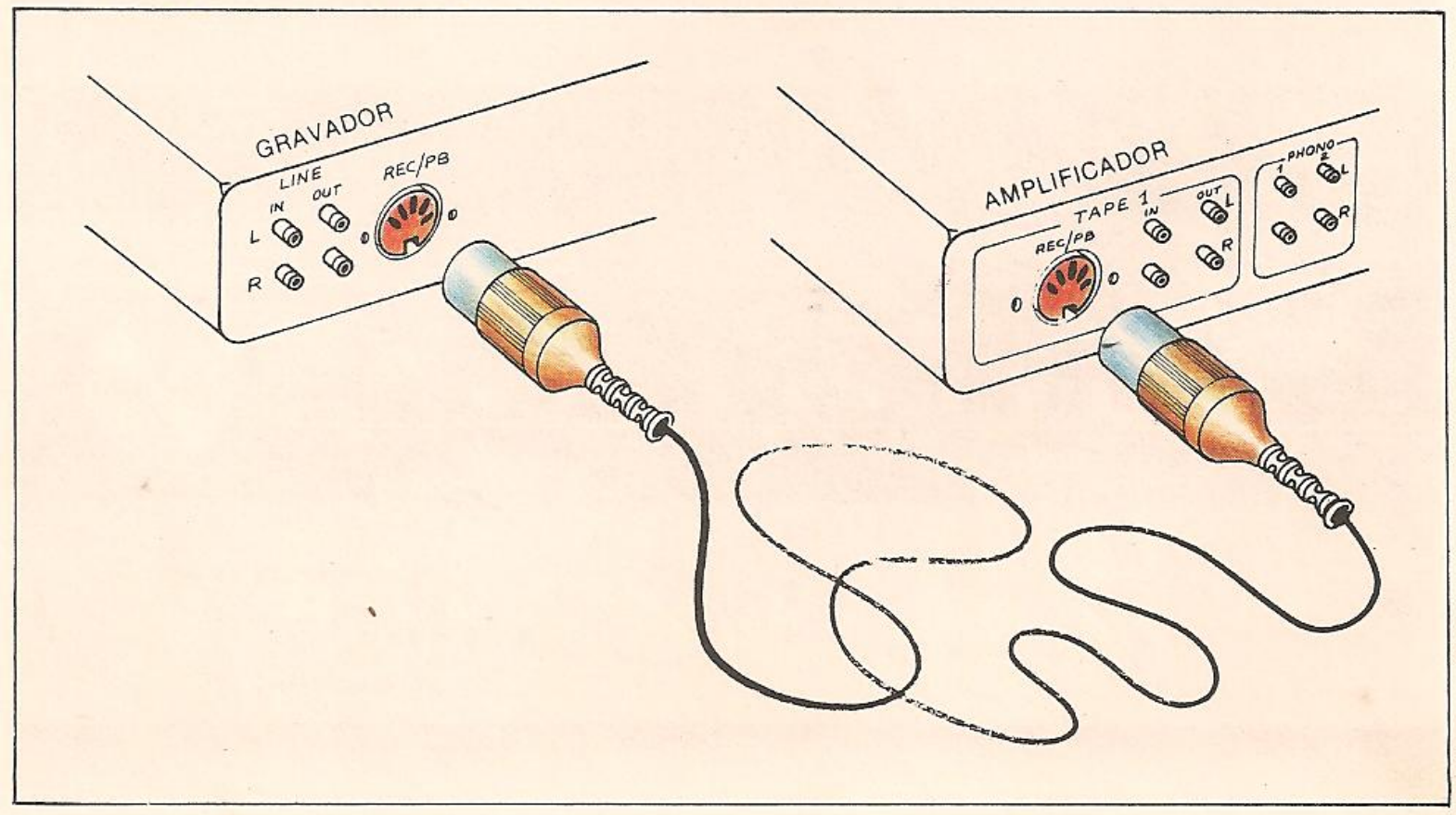


ACIMA: seletor em posição de toca-discos. Segundo o tipo de cápsula empregada pelo toca-discos, escolhe-se uma determinada posição para o seletor de entrada. As posições podem ser indicadas com as denominações MM (cápsula magnética), MC (de bobina móvel) ou XTAL (piezelétrica).



ACIMA: seletor em posição de fita. Nesse caso, o comutador rotativo pode estar em qualquer posição, já que a seleção é feita pela alavanca da direita.

ABAIXO: conexão gravador/pré-amplificador. A união mais simples entre gravador e pré-amplificador é feita com conetores do tipo DIN. Esse tipo de conetor já possui um guia, que impede ligações incorretas.



glês) e com OUT a saída (***output***, em inglês). Assim o problema estará resolvido. A conexão deverá ser feita, de um lado, do PB OUT do gravador para o PB IN do pré-amplificador e, do outro lado, do REC IN do gravador para o REC OUT do pré-amplificador. Se o equipamento é estereofônico, essas ligações devem ser feitas para cada canal.

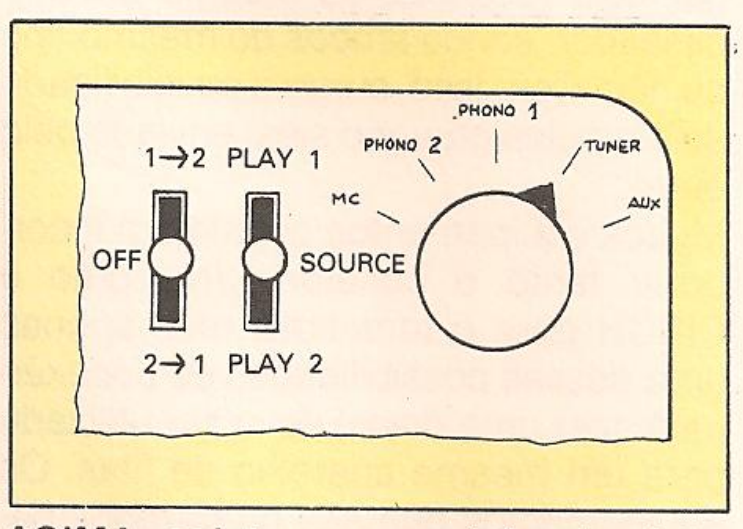
Deve-se lembrar que são ligados, de um lado, os terminais de gravação e, de outro, os de reprodução. Isso significa que a entrada de um equipamento é ligada à saída de outro.

De qualquer forma, se a conexão for errada, nada ocorrerá aos equipamentos: simplesmente, o pré-amplificador não receberá sinal (não se escutará a reprodução do som) ou o toca-fitas não gravará (porque o pré-amplificador não enviará o sinal para o terminal correto). As conseqüências ficarão por aí.

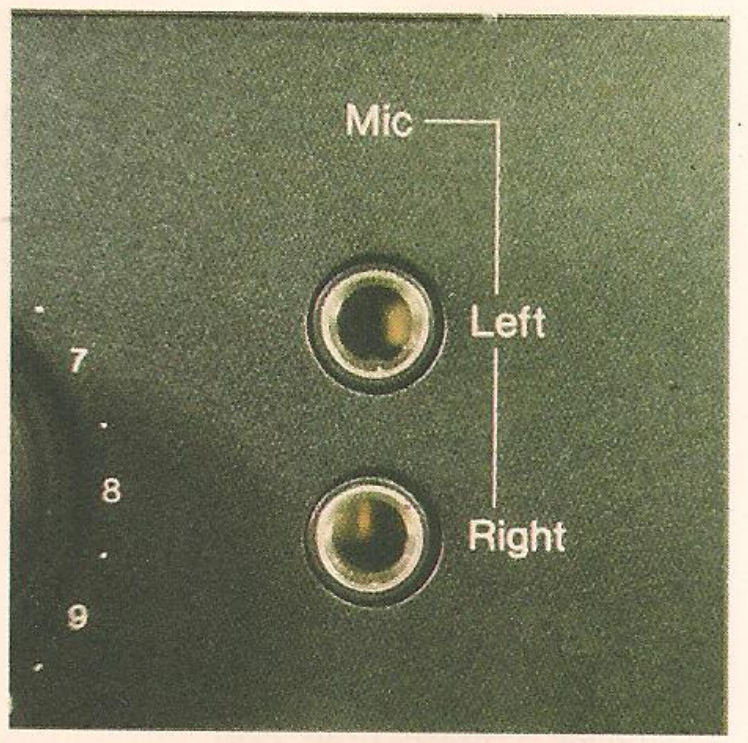
Outro tipo de entrada muito comum é a preparada para receber sinal de um sintonizador de rádio AM ou FM. Geralmente, essas entradas são marcadas com RADIO, TUNER, SINTONIZADOR ou alguma abreviatura. Muitos equipamentos modernos já incorporaram em uma mesma unidade o amplificador e o sintonizador. Nesse caso, não há conexão a ser realizada e a seleção de funções é feita no painel frontal. A maioria dos amplificadores está preparada para receber uma entrada de microfone, marcada com MICRO, MIC ou MIKE, cuja conexão é feita com o jack e, em geral, na parte frontal do aparelho. Alguns pré-amplificadores, especialmente aqueles de melhor qualidade, têm a possibilidade de mixar (misturar ou combinar) o sinal proveniente do microfone com qualquer outro proveniente do toca-discos, toca-fitas ou rádio. Essa combinação permite introduzir simultaneamente o sinal de um disco, por exemplo, e nossos próprios comentários ou o ruído ambiente, etc., com o



ACIMA: um grande número de pré-amplificadores possui entrada para sintonizador de rádio, com o qual se pode receber estações das diferentes faixas de radiodifusão.



ACIMA: seletor em posição de rádio.

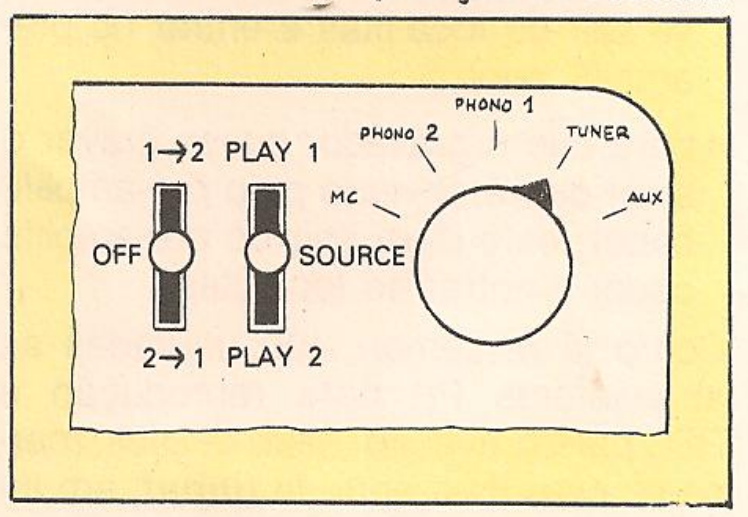


ACIMA: conetores para microfones. As vezes, são incorporados dois jacks para dois microfones independentes.

ABAIXO: quando se trata de um receiver, não se dispõe de seletor para a entrada de rádio, já que se seleciona diretamente a faixa que se deseja ouvir.

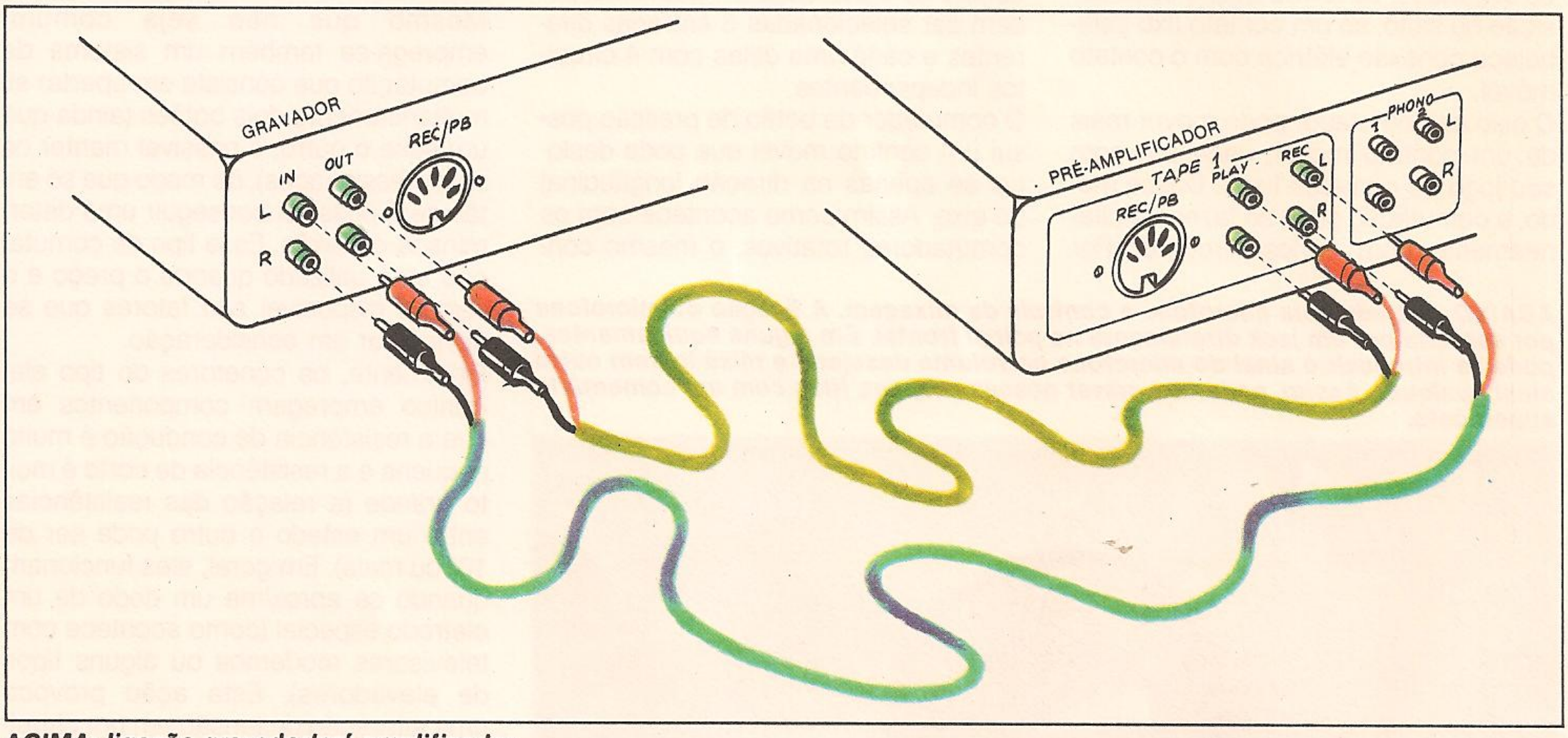


ABAIXO: seletor em posição de auxiliar.



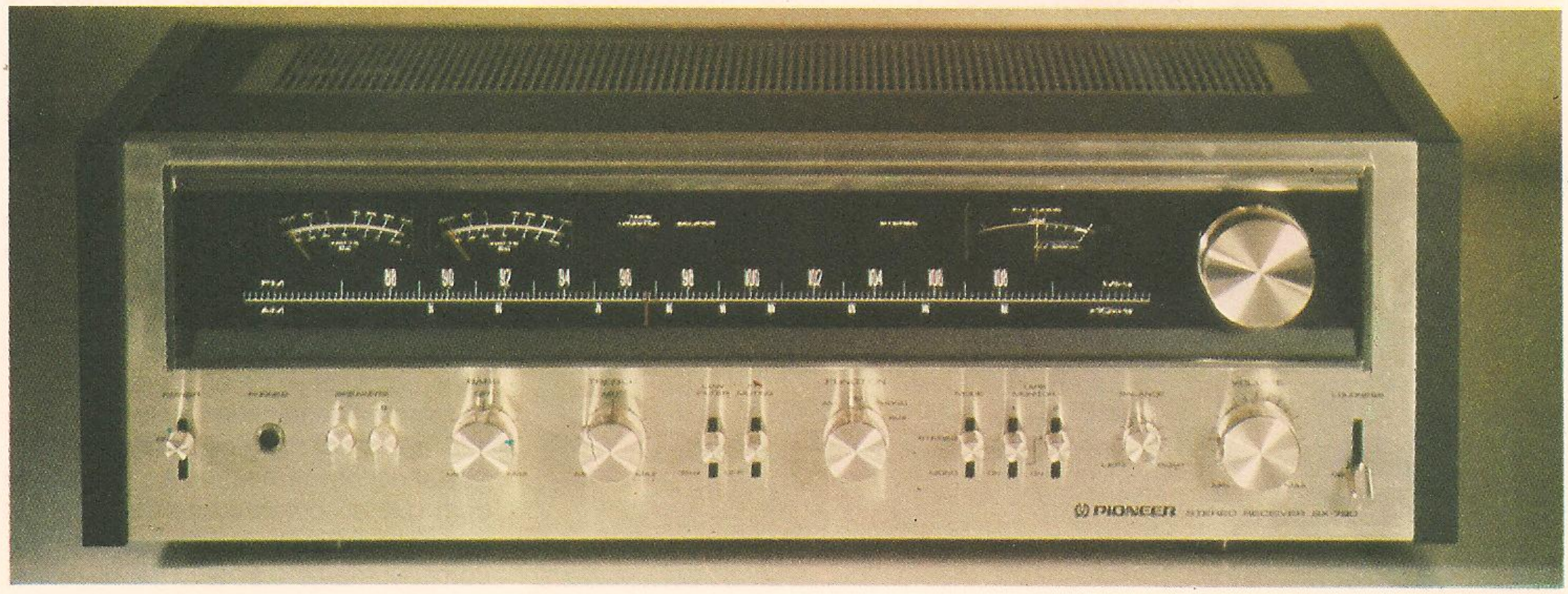
fim de animar uma reunião; gravar uma superposição de comentários; criar um fundo musical, etc.
A mistura de sinal do microfone com outro sinal pode ser realizada de modo variável, existindo comandos (giratórios ou lineares) que introduzem o sinal do microfone com maior ou menor intensidade, de forma que o comentário pode ser feito com o volume que quisermos. Esse comando costuma estar marcado com a denominação MIXER (misturador, traduzido do inglês). Se o equipamento pré-amplificador é estereofônico, poderá aceitar a entrada de dois microfones por um mesmo jack. Também pode possuir dois jacks independentes, um para cada canal. Nesse último caso, normalmente, existe a opção de se conetar apenas um microfone a um dos conetores (que já está preparado para isso), de tal forma que o sinal irá para os dois canais simultaneamente e a reprodução será monofônica.
Finalmente, é comum que os equipamentos possuam uma entrada auxiliar, denominada AUX, à qual pode ser ligado qualquer equipamento não citado aqui, como, por exemplo, a saída de som de um televisor, um segundo toca-discos, etc.
Esse tipo de entrada, geralmente, é de uso universal, de maneira que qualquer aparelho pode ser ligado a ela, com exceção dos que fornecem um sinal muito baixo, como as cápsulas magnéticas. Assim, se o equipamento não possui entrada prevista para sintonizador, ele pode ser ligado na entrada AUX. Se não existe uma entrada para cápsula de cristal, da mesma forma a entrada AUX é adequada. A única condição é que o sinal entregue tenha intensidade suficiente.

O seletor
Já consideramos todas as fontes de sinais possíveis que podem ser ligadas



ACIMA: ligação gravador/pré-amplificador.

ABAIXO: sintonizador-amplificador. Muitos equipamentos incorporam em uma mesma caixa um amplificador completo e um sintonizador de rádio.



ao equipamento. Como não vão ser reproduzidas todas ao mesmo tempo, devemos escolher qual delas será utilizada. Pra isso, empregamos o seletor.
A seleção da fonte é feita com a ajuda de um componente denominado chave comutadora, que pode apresentar formas variadas.
Podemos classificar esses componentes em dois grandes grupos: mecânicos e eletrônicos. Os primeiros, por sua vez, podem ser de dois tipos: rotativos e de botão de pressão.
O comutador rotativo consiste em um contato móvel e vários contatos fixos. Um eixo movimenta o primeiro sobre os segundos, de forma que, a cada posição ou salto, só um contato fixo estabelece conexão elétrica com o contato móvel.
O eixo do comutador pode mover mais de um contato móvel, cada um com seu jogo de contatos fixos. Desse modo, a comutação pode se fazer simultaneamente com vários circuitos. Por exemplo, pode-se empregar um jogo para cada canal de entrada em um sistema estereofônico, outros dois jogos para as conexões de determinados componentes do circuito do pré-amplificador (que são diferentes, de acordo com a entrada selecionada) e ainda outro jogo para a sinalização de tipo luminoso, tudo isso selecionado e movido ao mesmo tempo.
Devido à forma desses conetores, cada jogo de contato móvel e contatos fixos recebe o nome de pastilha, de forma que podem ser adicionadas quantas pastilhas se desejar a um mesmo eixo. Assim, um comutador de 5 x 4 consta de 5 posições e 4 pastilhas; podem ser selecionadas 5 entradas diferentes e cada uma delas com 4 circuitos independentes.
O comutador de botão de pressão possui um contato móvel que pode deslocar-se apenas na direção longitudinal do eixo. Assim como acontece com os comutadores rotativos, o mesmo contato pode comutar vários circuitos independentes simultaneamente.
Este tipo de comutador é utilizado sozinho ou na forma de um conjunto de botões de pressão. Quando é utilizado apenas um botão (por exemplo, para ligar e desligar um equipamento), para passar de uma posição para a outra, deve-se apenas apertar o botão.
Quando é empregado um conjunto de botões, eles podem funcionar de maneira independente ou relacionados mecanicamente, sendo que apenas um pode estar pressionado. Quando é apertado algum outro botão, aquele que estava pressionado solta-se e apenas o último permanece pressionado.
Mesmo que não seja comum, emprega-se também um sistema de comutação que consiste em apertar simultaneamente dois botões (ainda que um solte o outro, é possível manter os dois pressionados), de modo que só então será possível conseguir uma determinada conexão. Esse tipo de comutação só é utilizado quando o preço e o espaço disponível são fatores que se deve levar em consideração.
Finalmente, os conetores do tipo eletrônico empregam componentes em que a resistência de condução é muito pequena e a resistência de corte é muito grande (a relação das resistências entre um estado e outro pode ser de 10^6 ou mais). Em geral, eles funcionam quando se aproxima um dedo de um eletrodo especial (como acontece com televisores modernos ou alguns tipos de elevadores). Esta ação provoca uma alteração de tensão em um circuito apropriado que, por sua vez, governa os componentes que permitem ou impedem a passagem de um sinal.
Atualmente, são pouco utilizados na área de sinais de áudio, pois os níveis de sinal que devem manejar são muito baixos e o ruído que podem introduzir acaba por somar-se ao sinal, desvirtuando completamente o conteúdo sonoro que se deseja reproduzir.
A vida útil de um comutador eletrônico é praticamente ilimitada, ao contrário do que ocorre com os comutadores mecânicos. Esses últimos são fabricados com materiais muito resistentes e bons condutores de eletricidade (bronze fosforoso e banhos de prata), porém seu contínuo movimento acaba desgastando os componentes e fazendo com que o contato se torne cada vez menos confiável, o que pode alterar completamente o sinal.

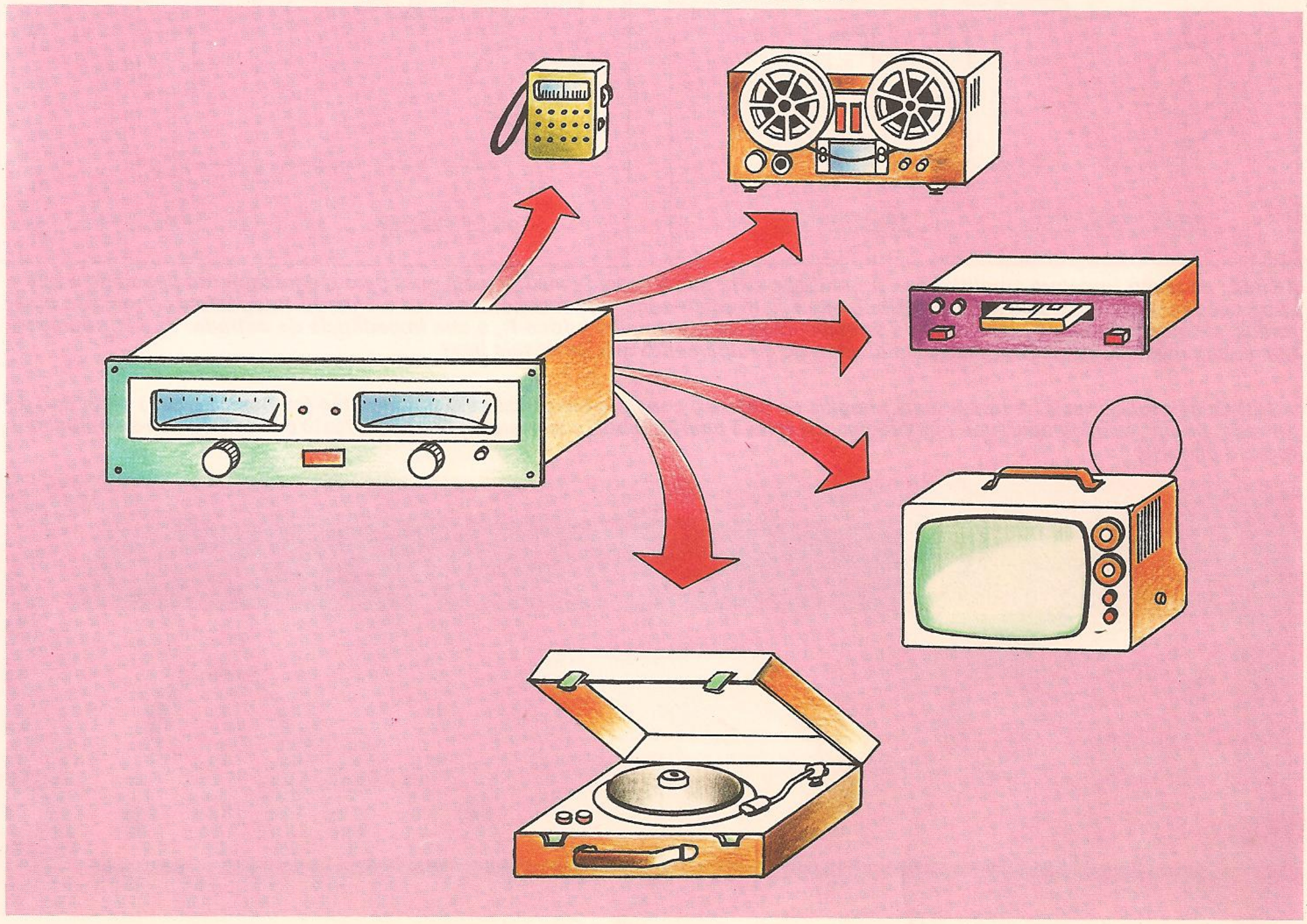
ABAIXO: entrada para microfone e controle de mixagem. A ligação do microfone por ser feita por um jack diretamente no painel frontal. Em alguns equipamentos, pode-se introduzir o sinal do microfone no volume desejado e mixá-lo com outro sinal qualquer. Assim, podemos gravar nossas próprias fitas com um comentário superposto.



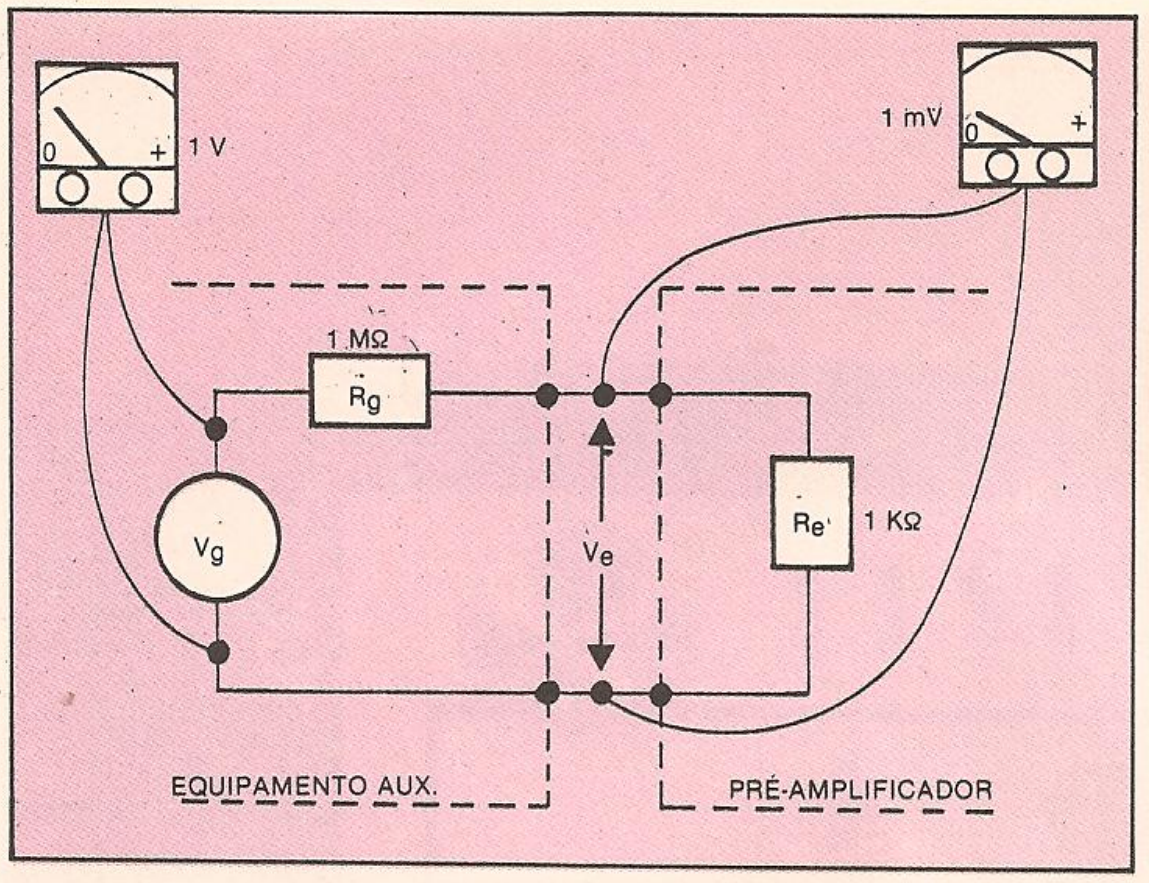


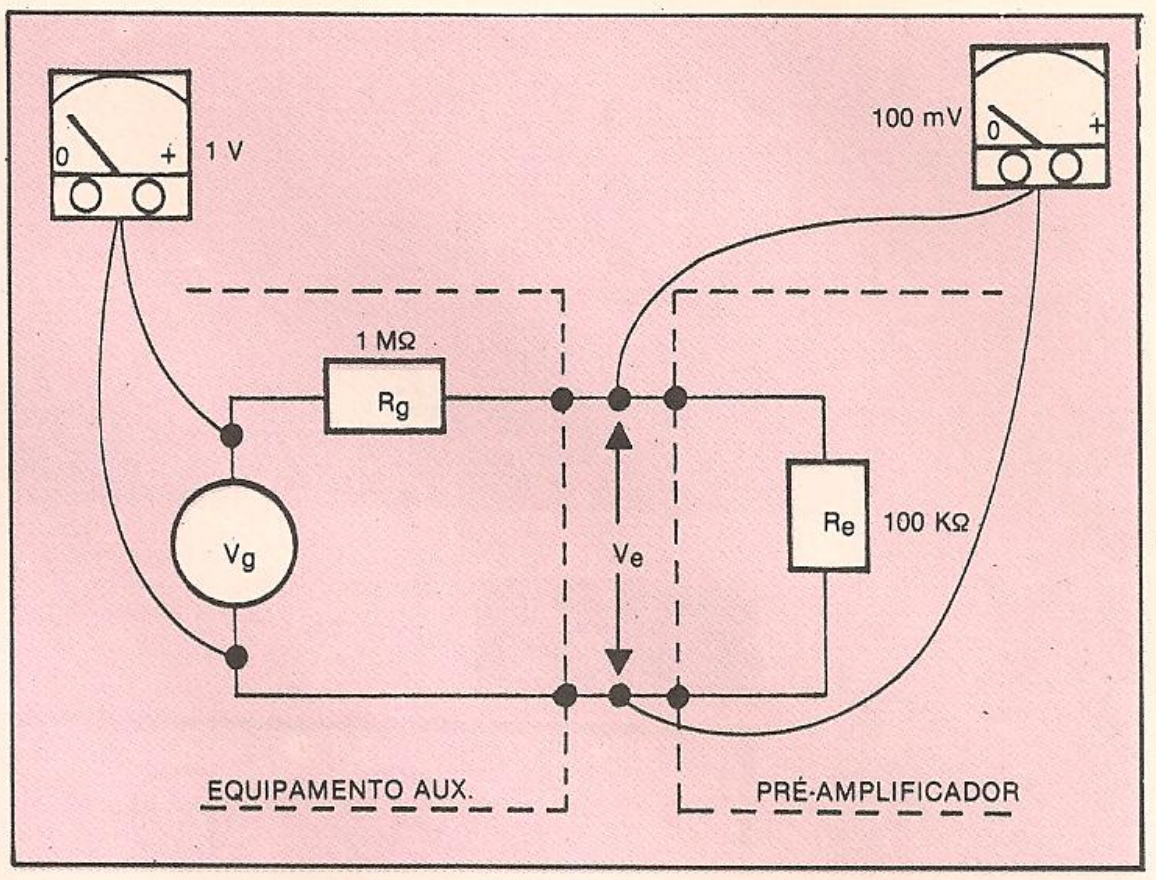
ACIMA: podemos ligar um ou dois microfones em um pré-amplificador para criar um ambiente em uma festa ou para fazer qualquer tipo de gravação direta.

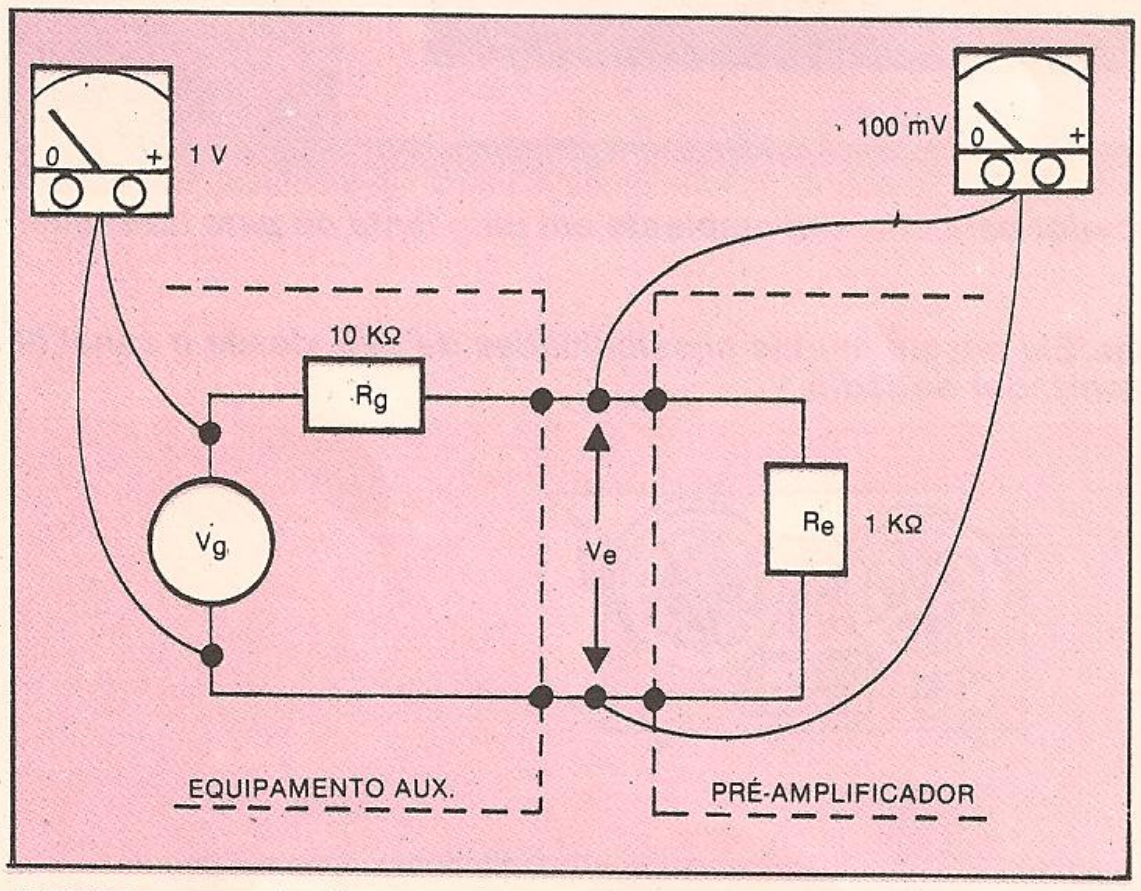
ABAIXO: diversas fontes que podem ser ligadas à entrada auxiliar. Ela possui muitas possibilidades de uso, desde o canal de som de um televisor até um rádio portátil que substitua um sintonizador de rádio.

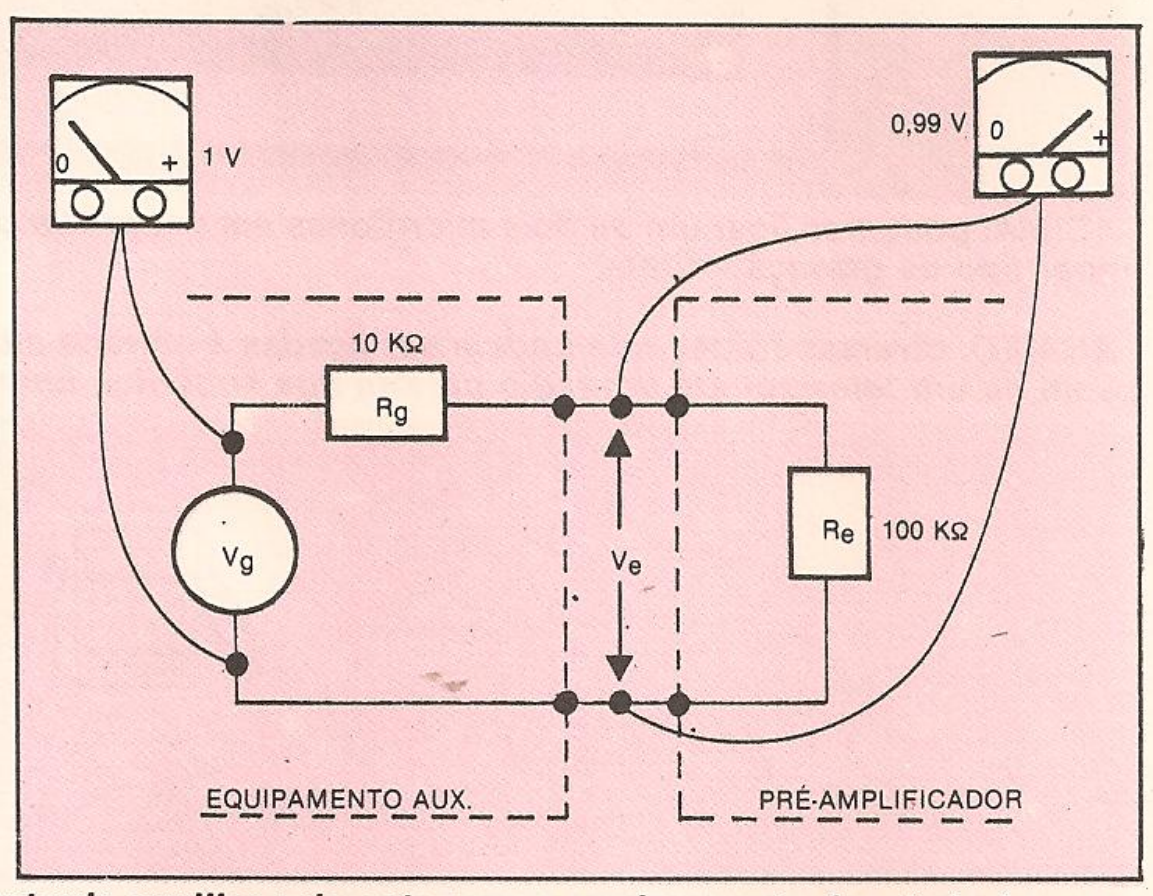


eletronica 38 3º cad.









ACIMA: conexão fonte/pré-amplificador. A condição para que a entrada auxiliar seja apta para o equipamento desejado é que a sua impedância de entrada e a sua sensibilidade sejam adequadas para receber sinal suficiente do equipamento. Aqui são mostrados vários exemplos. V_e representa a sensibilidade do pré-amplificador e R_e a sua impedância de entrada. V_g e R_g representam essas mesmas características para a saída do equipamento que se deseja ligar.

ABAIXO: seletor de tecla. A forma mais simples de seleção consiste em utilizar um único botão (ou posição) para cada tipo de entrada. Assim, a única operação que precisa ser feita é apertar o botão adequado, ficando o resto das fontes não-selecionadas fora do circuito.



A CÁPSULA FONOCAPTADORA

A cápsula fonocaptadora é um componente indispensável de qualquer sistema de reprodução sonora de discos, desde o velho gramofone até o mais sofisticado sistema de alta-fidelidade: é ela a responsável pela primeira elaboração dos sinais.

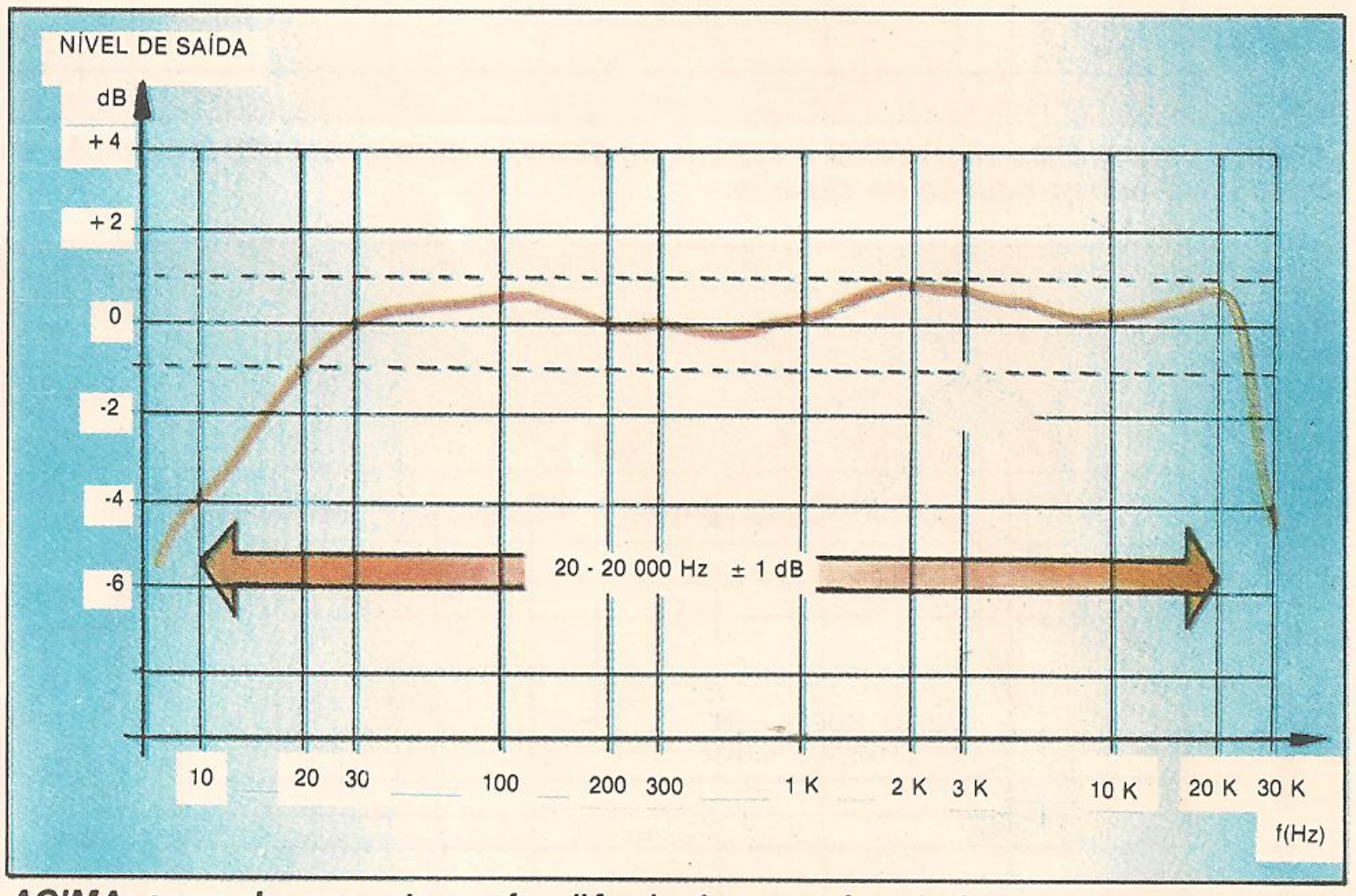
A cápsula fonocaptadora é um dos elementos essenciais do toca-discos. Sua função é transformar a informação contida no disco, sob a forma de ondulação mecânica, em sinais elétricos a serem amplificados. Finalmente, estes sinais serão transformados em som pelos alto-falantes.

Pode-se deduzir, então, que do bom funcionamento da cápsula e de sua maior ou menor qualidade depende todo o resto do sistema. Os defeitos que possam ser apresentados pela cápsula não são corrigidos pelos circuitos que ela serve: as conseqüências, portanto, somente serão perceptíveis no resultado final.

As principais características de uma cápsula fonocaptadora padrão são as seguintes:

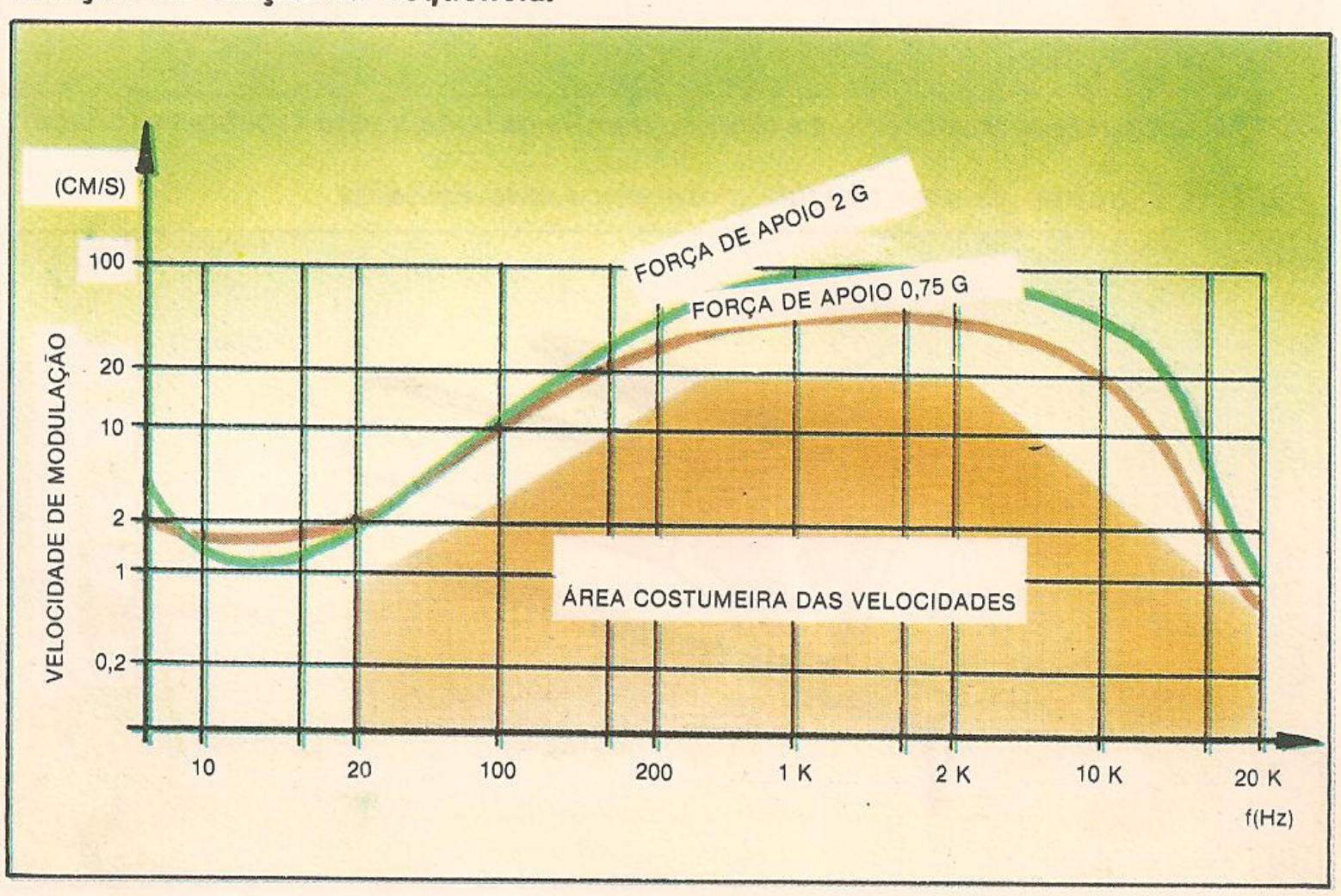
- resposta em freqüência;
- compliância e trilhacidade;
- separação entre os canais;
- força de apoio;
- tensão de saída;
- diferença entre os canais.

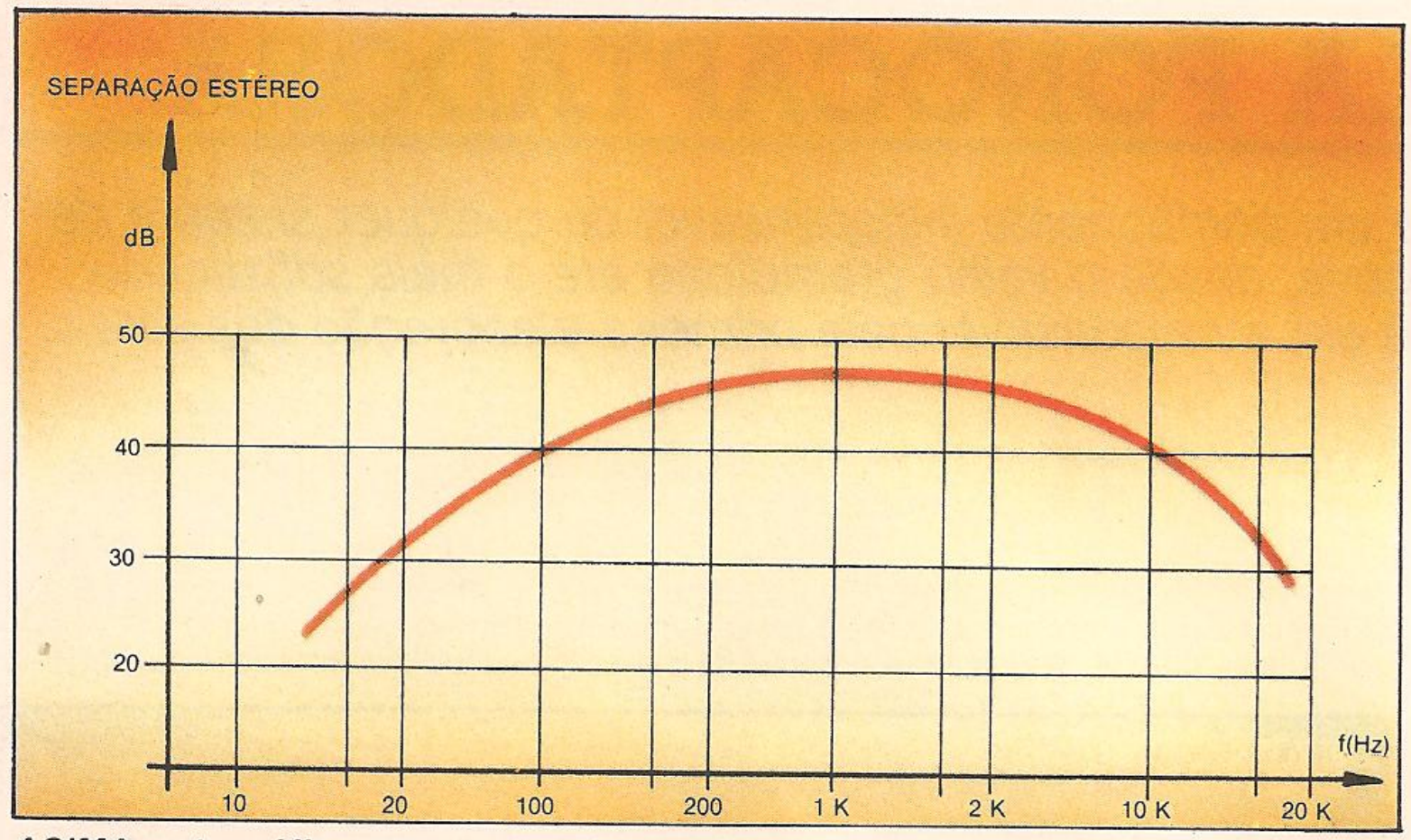
- **Resposta em freqüência:** deve ser a mais plana possível em todo o intervalo de freqüências, que, por sua vez, deve ser o mais amplo possível. A freqüência e o intervalo são expressos em hertz e os desvios, em decibéis. Às vezes, a resposta em freqüência pode ser representada por um gráfico, no qual é possível ler os valores.
- **Compliância** ou **trilhacidade** (***trackbility***, em inglês): é a característica que dá uma idéia da capacidade da agulha de seguir fielmente as ondulações do sulco. É expressa como a máxima velocidade de modulação ou oscilação que a agulha pode assumir para uma freqüência assinalada. É medida em centímetros/dyna e seu valor depende, em grande par-



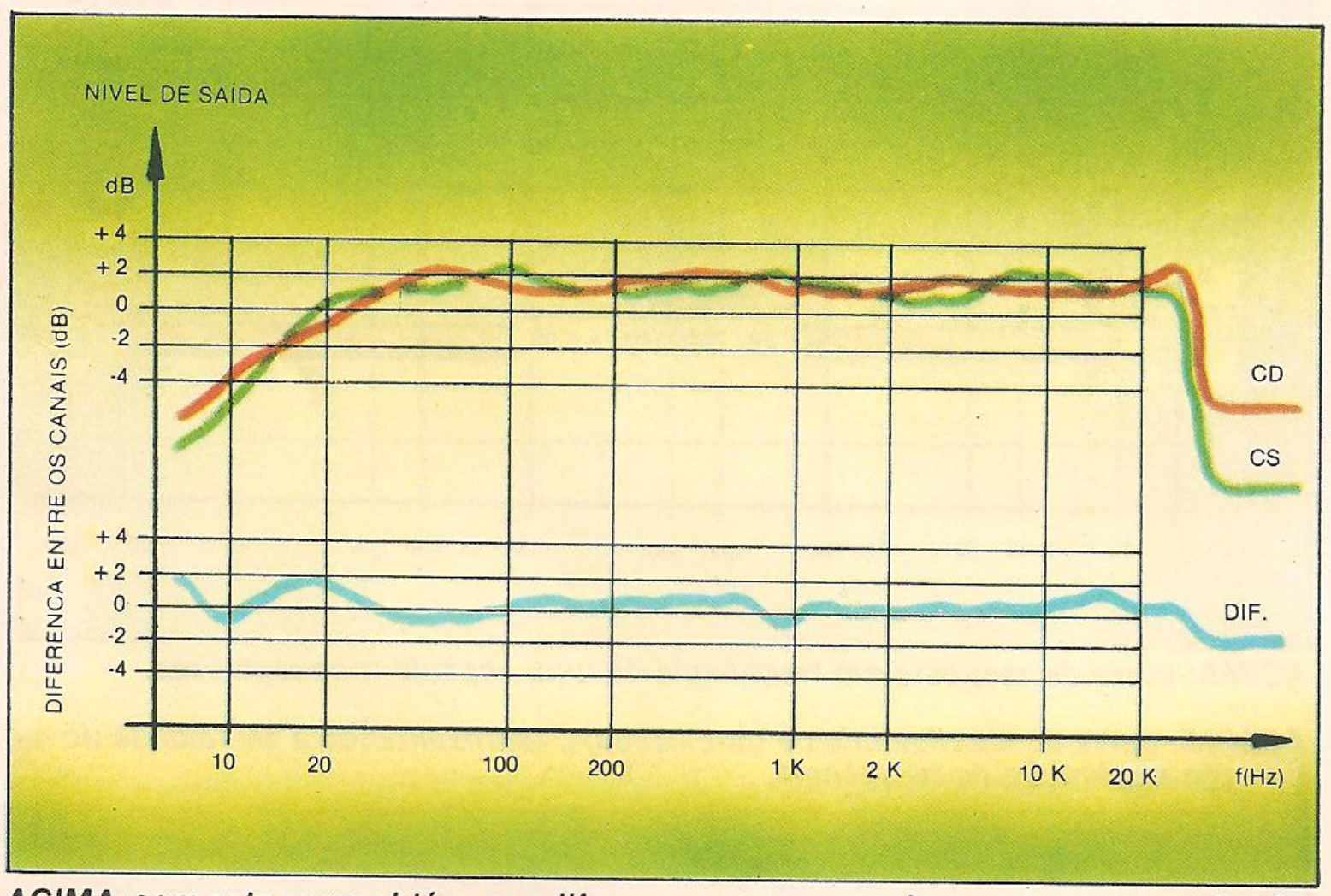
ACIMA: curva de resposta em freqüência de uma cápsula fonocaptadora.

ABAIXO: curva de elasticidade de uma cápsula, representando a velocidade de modulação em função da freqüência.



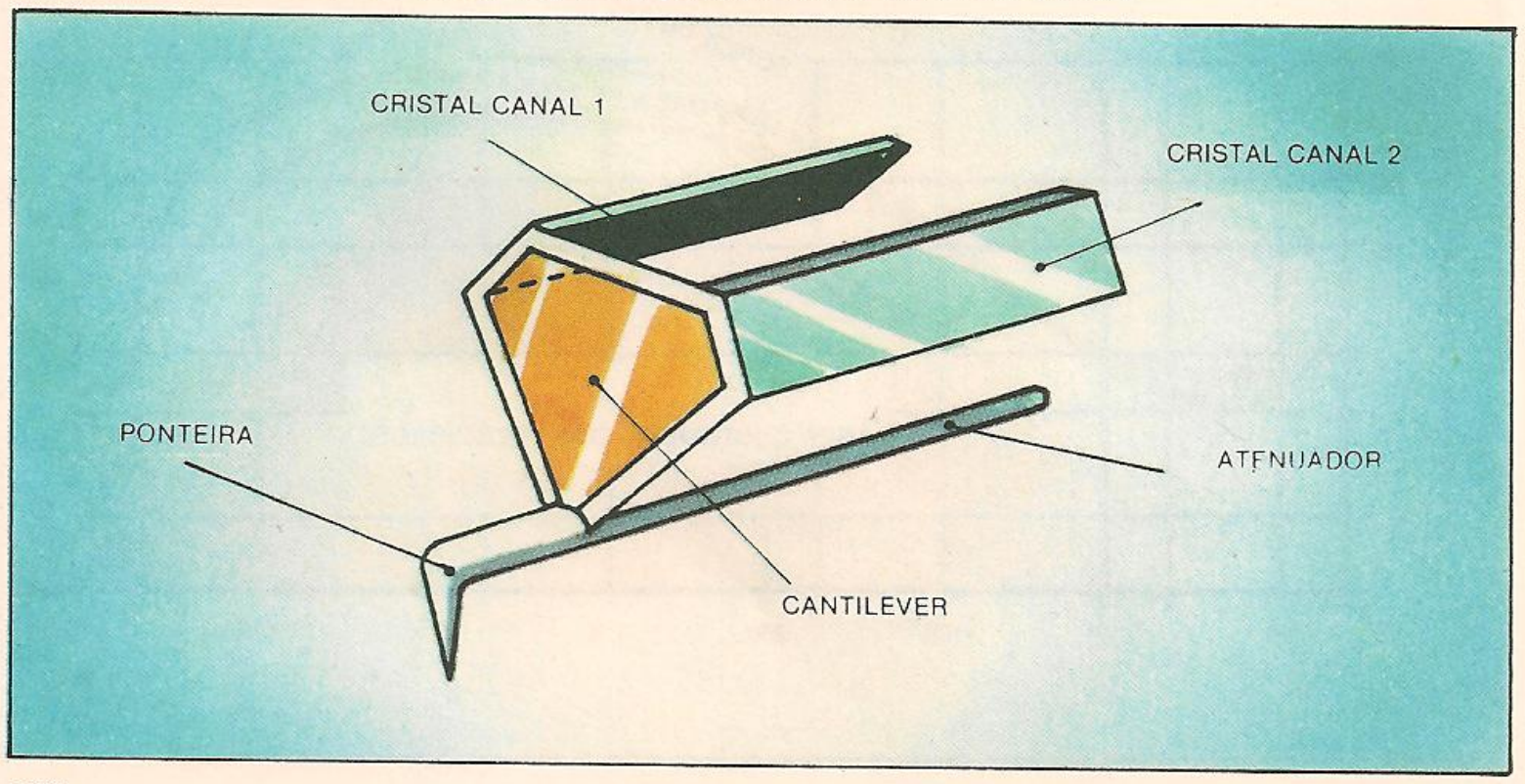


ACIMA: este gráfico representa a separação entre os canais, em dB, em função da freqüência de reprodução da cápsula.



ACIMA: com esta curva obtém-se a diferença entre os canais para a mesma excitação.

ABAIXO: estrutura de uma cápsula piezelétrica estereofônica.



te, da força de apoio da agulha sobre o sulco, com valores distintos para movimentos horizontais e verticais. Se a compliância for expressa graficamente, haverá curvas diferentes para as diversas forças de apoio.

- **Separação entre os canais:** como a informação contida no sulco serve para os dois canais com uma única agulha, existe sempre uma interação recíproca entre os canais. A separação é expressa em decibel, e deve ser a maior possível. A separação entre os canais depende fundamentalmente da freqüência e o maior valor é obtido nas freqüências intermediárias da curva de resposta.
- **Força de apoio:** é o peso que o sulco suporta pela ação conjunta do braço, da cápsula e da agulha. Seu valor é sempre fixado em função das características de projeto da cápsula fonocaptadora. É expressa em gramas ou milinewton (mN). Oscila entre 0,75 g e 4 g.
- **Tensão de saída:** é gerada pelo movimento da agulha sobre o sulco. Para cápsulas magnéticas, é de aproximadamente 1 mV por centímetro/s de velocidade de leitura, numa determinada freqüência, quase sempre de 1 KHz.
- **Diferença entre os canais:** é a diferença na tensão de saída de cada canal para a mesma forma do sulco entre os canais. É expressa em decibel e deve ser a mais baixa possível. A variação com a freqüência é muito pequena.

Atualmente, há diversos tipos de cápsulas fonocaptadoras, com princípios de funcionamento baseados em fenômenos físicos piezelétricos e eletromagnéticos. De acordo com esses princípios, há dois modelos principais:

- cápsulas piezelétricas;
- cápsulas eletromagnéticas.

As **cápsulas piezelétricas** baseiam-se no fenômeno da piezeletricidade, comum a um certo número de cristais e cerâmicas. Se uma forte pressão mecânica é exercida sobre o cristal, as partículas carregam-se eletricamente. Ao contrário, se aplicarmos uma tensão elétrica, ocorre uma deformação mecânica.

Estas cápsulas são formadas por duas meias lâminas de cristal dobradas. Essas lâminas, em geral, são de sal de Rochelle ou Seignette, ou de titanato de bário. As lâminas são fixadas em um pequeno suporte (***cantilever***, em

inglês) que tem uma de suas extremidades unida à agulha através de uma articulação em forma de estribo. Quando a ponta se move, deslizando ao longo do sulco, ela transmite o movimento ao cantilever que, por sua vez, dobra uma parte do cristal. Em seguida, a carga do cristal é modificada, gerando uma tensão elétrica para a entrada do amplificador.

A cápsula piezelétrica mais utilizada é a **cápsula cerâmica**, igual à de cristal, mas muito menos sensível à temperatura e à umidade.

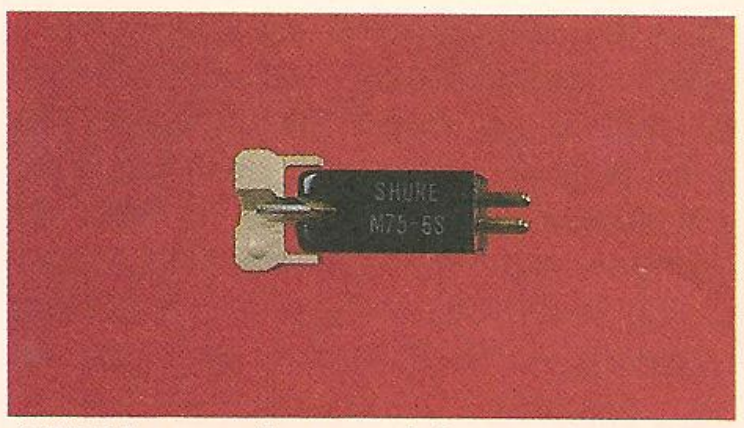
A cápsula fonocaptadora piezelétrica é sensível à amplitude do deslocamento da agulha. A resistência de carga é de 1 MΩ ou 2 MΩ e não há necessidade de um circuito de equalização na entrada do amplificador. As vantagens são a insensibilidade aos campos magnéticos externos, a elevada tensão de saída e o baixo custo de fabricação. Entre as desvantagens, lembramos o ruído um tanto elevado e a curva de resposta relativamente insatisfatória, com alta impedância de saída.

As **cápsulas eletromagnéticas**, atualmente, são as únicas utilizadas em sistemas de alta-fidelidade. Têm funcionamento oposto às cápsulas piezelétricas. Ao invés de serem sensíveis à amplitude do deslocamento, elas são sensíveis à velocidade do deslocamento, pois a tensão de saída é proporcional à velocidade de leitura dos conteúdos da trilha por parte da agulha de diamante. A velocidade aumenta com a freqüência; deve-se portanto, utilizar o equalizador RIIA, para equilibrar as freqüências reproduzidas.

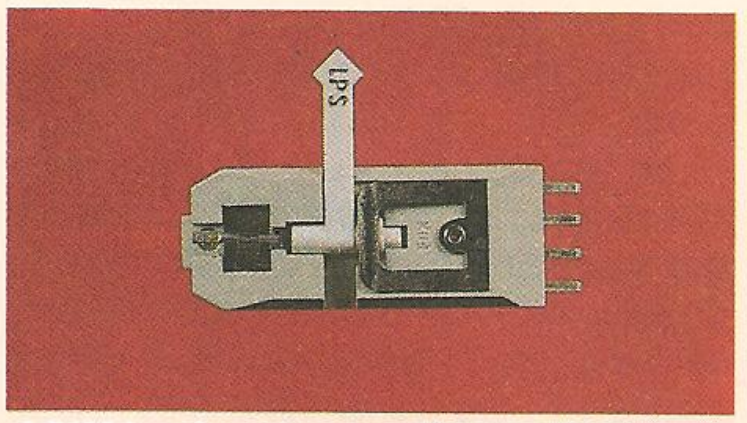
Existem diversos modelos de cápsulas fonocaptadoras magnéticas, com técnicas relativamente diferentes. As principais são:

- cápsulas de relutância variável;
- cápsulas de magneto induzido;
- cápsulas de bobina móvel.

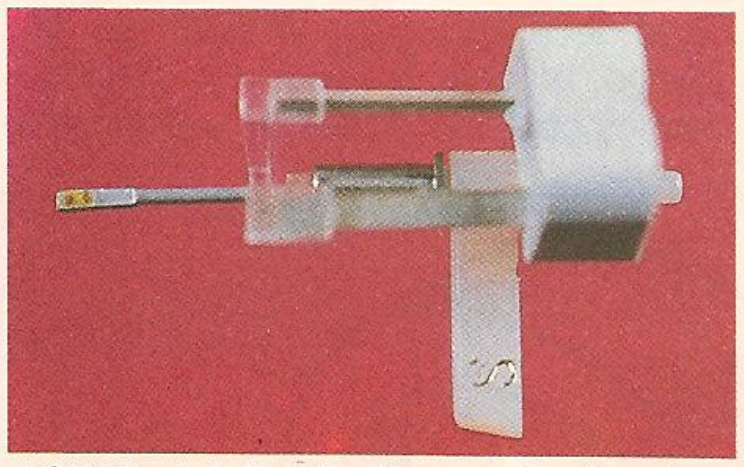
As **cápsulas de relutância variável** têm uma estrutura formada por quatro pólos com um condutor em volta, em cujo interior há um pequeno bloco de ferro doce, solidário com o cantilever que sustenta a agulha. Quando a agulha revela ondulações contidas na trilha, o movimento criado aciona o ferro doce, fazendo com que a superfície do entreferro varie, criando um campo magnético nas bobinas. A variação de campo magnético gera sinais elétricos proporcionais à velocidade de leitura da agulha. Essas cápsulas fonocapta-



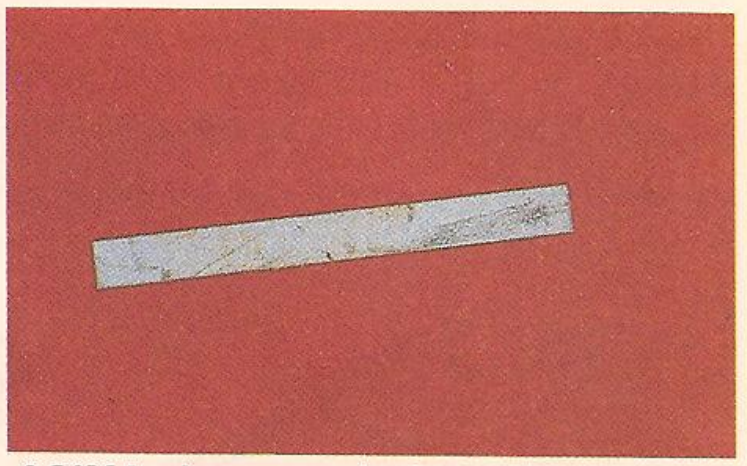
ACIMA: um dos modelos mais utilizados de cápsula magnética.



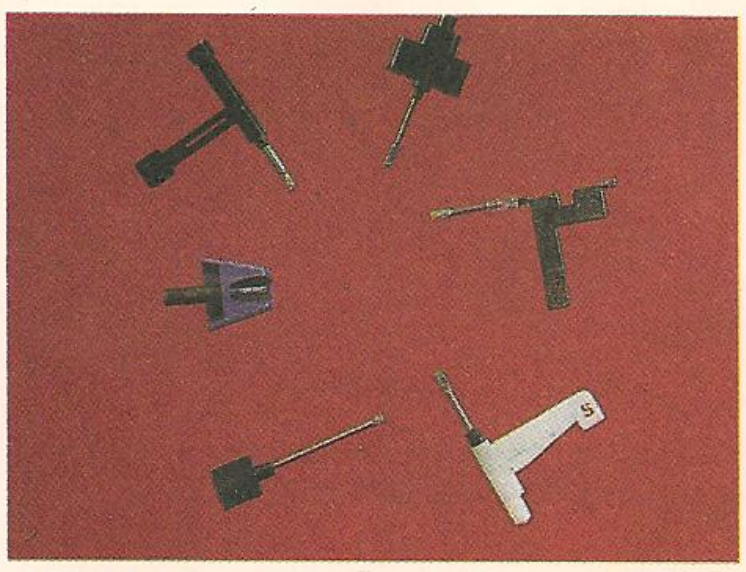
ACIMA: cápsula piezelétrica. Este é um dos tipos mais comuns.



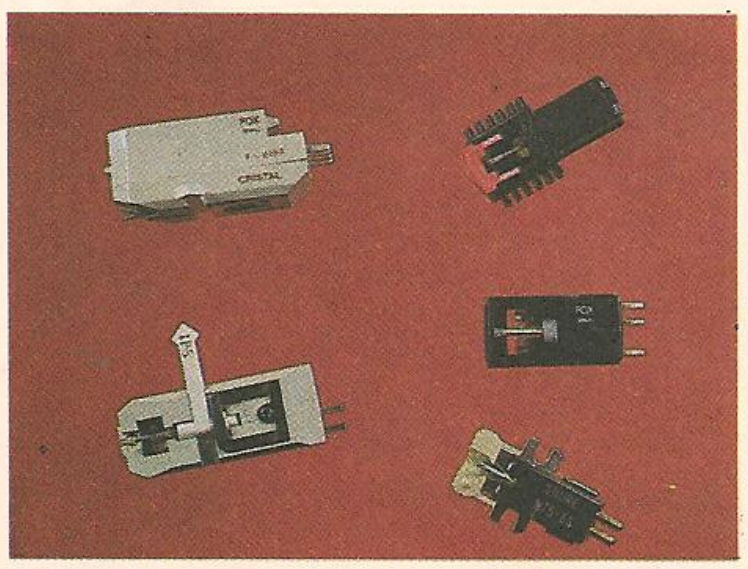
ACIMA: detalhe da disposição das duas chapas de cerâmica piezelétrica em uma cápsula estereofônica.



ACIMA: barra cerâmica utilizada para cápsulas fonocaptadoras. É formada por duas lâminas dobradas.

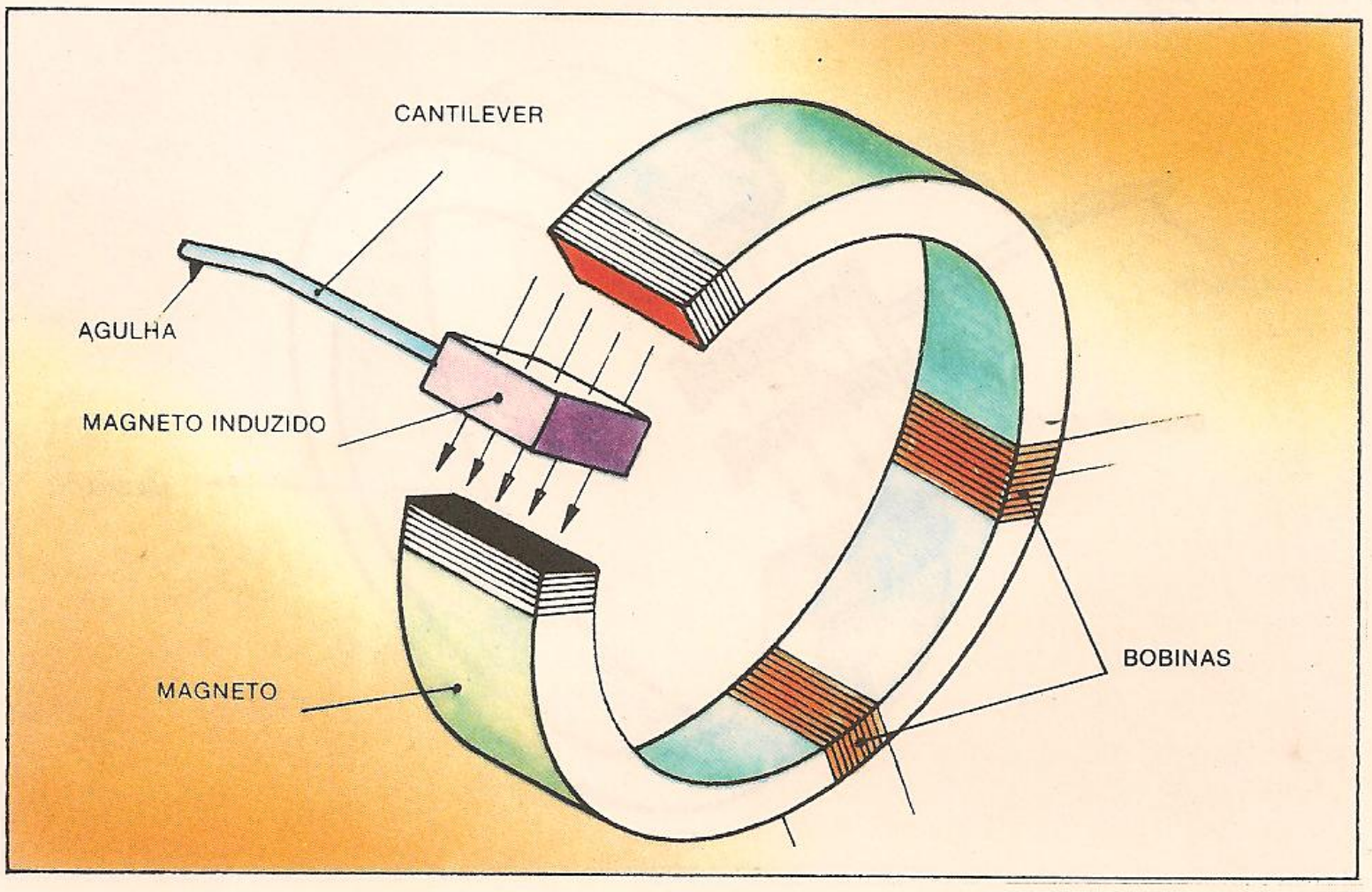


ACIMA: tipos diferentes de suportes utilizados nas agulhas.



ACIMA: tipos e modelos diferentes de cápsulas fonocaptadoras.

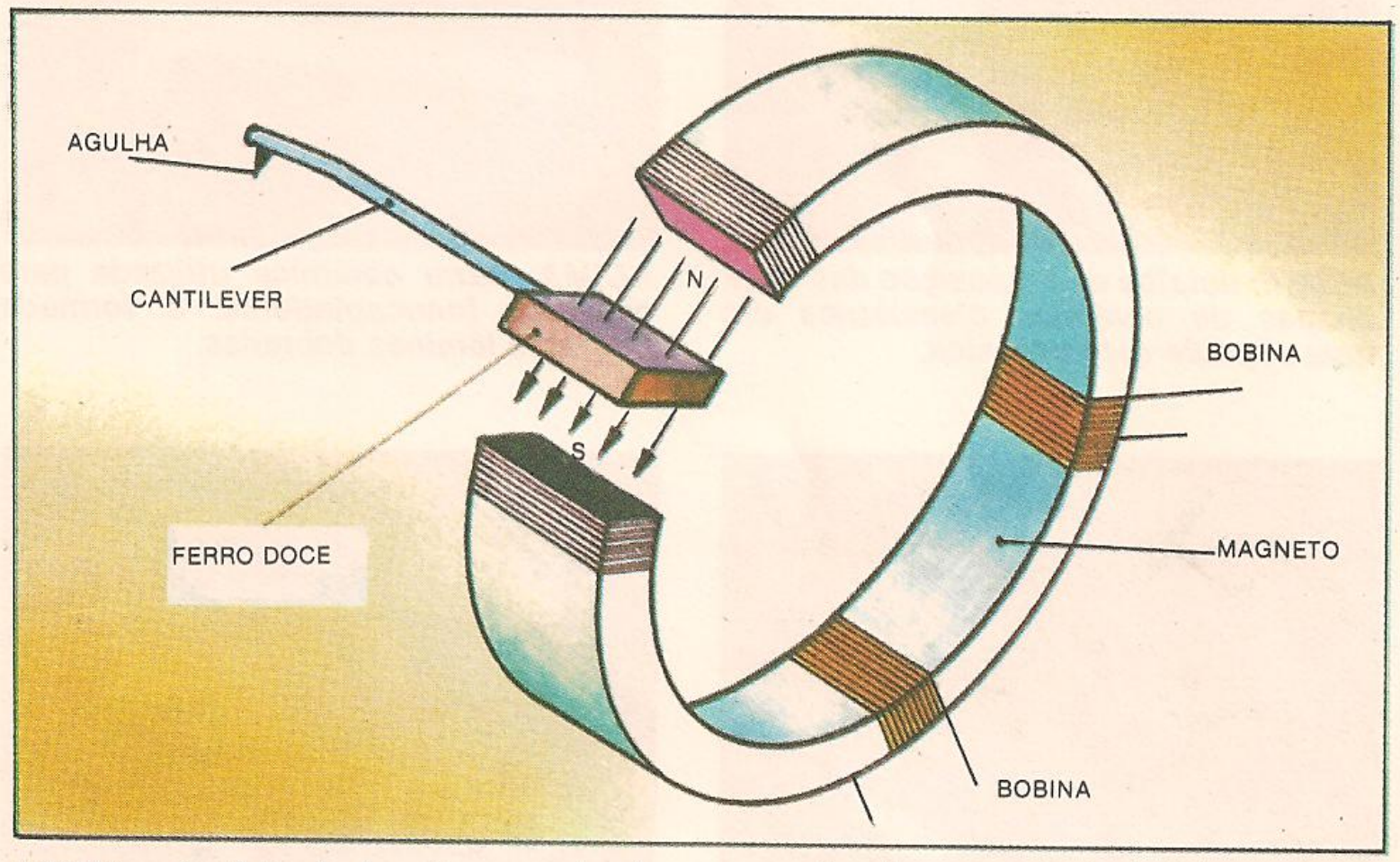
ABAIXO: princípio de funcionamento de uma cápsula de magneto induzido.



doras têm sensibilidade muito grande e resposta em freqüência relativamente plana.

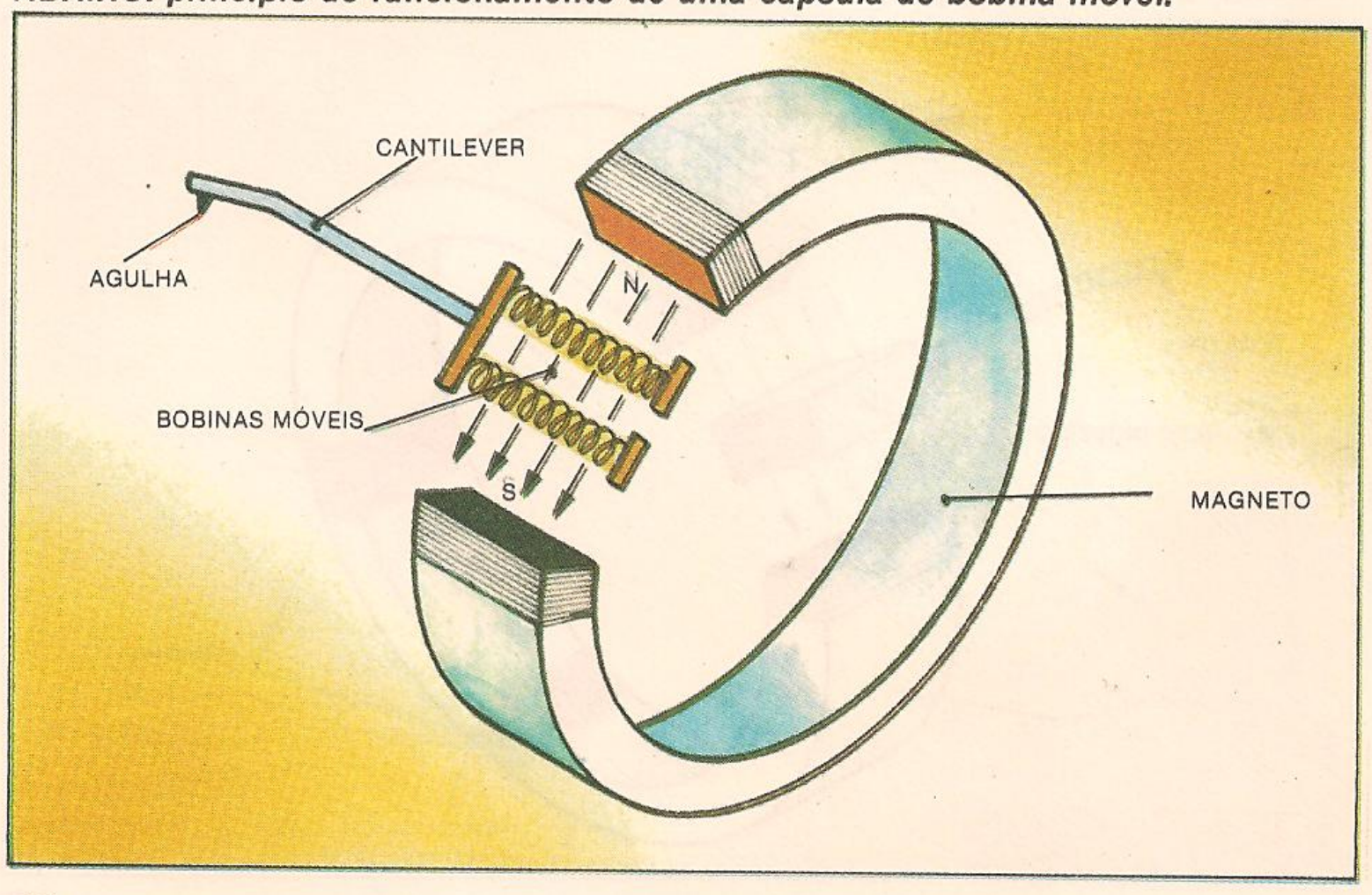
Outro tipo de cápsula muito semelhante à de relutância variável é a **cápsula magnetodinâmica** ou de **magneto induzido**. Ao invés de ferro doce, tem-se um pequeno magneto solidário com o cantilever para transmitir o movimento da agulha de leitura. As cápsulas de magneto induzido são derivadas das cápsulas de relutância variável. As variações do campo magnético são produzidas por uma lâmina de ferro doce situada no campo criado por um magneto fixo de grande potência. O ferro doce é solidário com os movimentos da agulha por meio do cantilever ao qual a agulha está unida. Aqui também, o sinal elétrico criado pela variação de campo magnético é proporcional à velocidade de leitura. Tem-se uma ótima resposta em freqüência e uma elevada sensibilidade.

As **cápsulas de bobina móvel** têm um funcionamento completamente diferente. Nelas, movem-se pequenas bobinas localizadas no interior de um campo magnético fixo. Os deslocamentos geram uma tensão elétrica proporcional às ondulações da trilha. Como as bobinas são microscópicas, a tensão de saída é muito baixa, sendo preciso utilizar um pré-amplificador adicional para elevar o nível de tensão e adaptar o sinal elétrico na entrada do amplificador. Pode-se também utilizar um transformador, projetado adequadamente para não misturar ruídos indesejados ao sinal. Nos aparelhos modernos, freqüentemente, tem-se uma entrada especial. Resumindo, essas cápsulas têm uma boa resposta em alta freqüência, mas são delicadas e necessitam de um pré-amplificador.



ACIMA: princípio de funcionamento de uma agulha de magneto induzido.

ABAIXO: princípio de funcionamento de uma cápsula de bobina móvel.



Qual característica fornece uma idéia da capacidade de uma cápsula fonocaptadora para reproduzir fielmente as ondulações das trilhas do disco?
É a característica chamada de compliância ou trilhacidade, que depende em grande parte da força de apoio da ponteira sobre o disco.

O que é determinado com a separação entre os canais, na cápsula fonocaptadora?
Determina-se a maior ou menor capacidade de obter dois canais estereofônicas independentes da informação contida no disco, explorado com uma única agulha.

Com qual modelo de cápsula há máxima tensão de saída?
Com a cápsula piezelétrica, embora ela apresente desvantagens como a alta impedância e a resposta em freqüência relativamente reduzida.

Por que na cápsula magnética a tensão de saída aumenta com a freqüência?
Porque esse tipo de cápsula é sensível à velocidade de deslocamento da agulha sobre o disco.

Qual é o princípio de funcionamento de uma cápsula fonocaptadora de relutância variável?
Há o deslocamento de um bloco de ferro doce colocado no circuito magnético de ímãs bobinados. Esse circuito altera a sua relutância, e provoca-se uma variação do fluxo magnético com força magnetomotora constante. Isso provoca o fenômeno da indução de tensão elétrica.

Qual é a principal desvantagem de uma cápsula de bobina móvel?
É o baixo nível de tensão de saída produzida, que implica a necessidade de dispor de um circuito pré-amplificador adicional, exclusivo para esse tipo de cápsula.

O COMPLEXO HI-FI

O sistema de alta-fidelidade, ou hi-fi, como todo mundo conhece, é o conjunto responsável pela reprodução perfeita de qualquer programa sonoro. Neste capítulo, você vai conhecer todos os componentes desse sistema, desde o alto-falante até os amplificadores, suas principais características e seu funcionamento básico.

Por sistema sonoro ou sistema de áudio entende-se o aparelho, ou conjunto de aparelhos, projetado para reproduzir qualquer programa sonoro, sob a forma de disco, fita, rádio ou qualquer outro meio.

O conceito de alta-fidelidade (ou hi-fi) é aplicável a todos os sistemas sonoros cuja qualidade de reprodução iguala ou supera um determinado nível de qualidade.

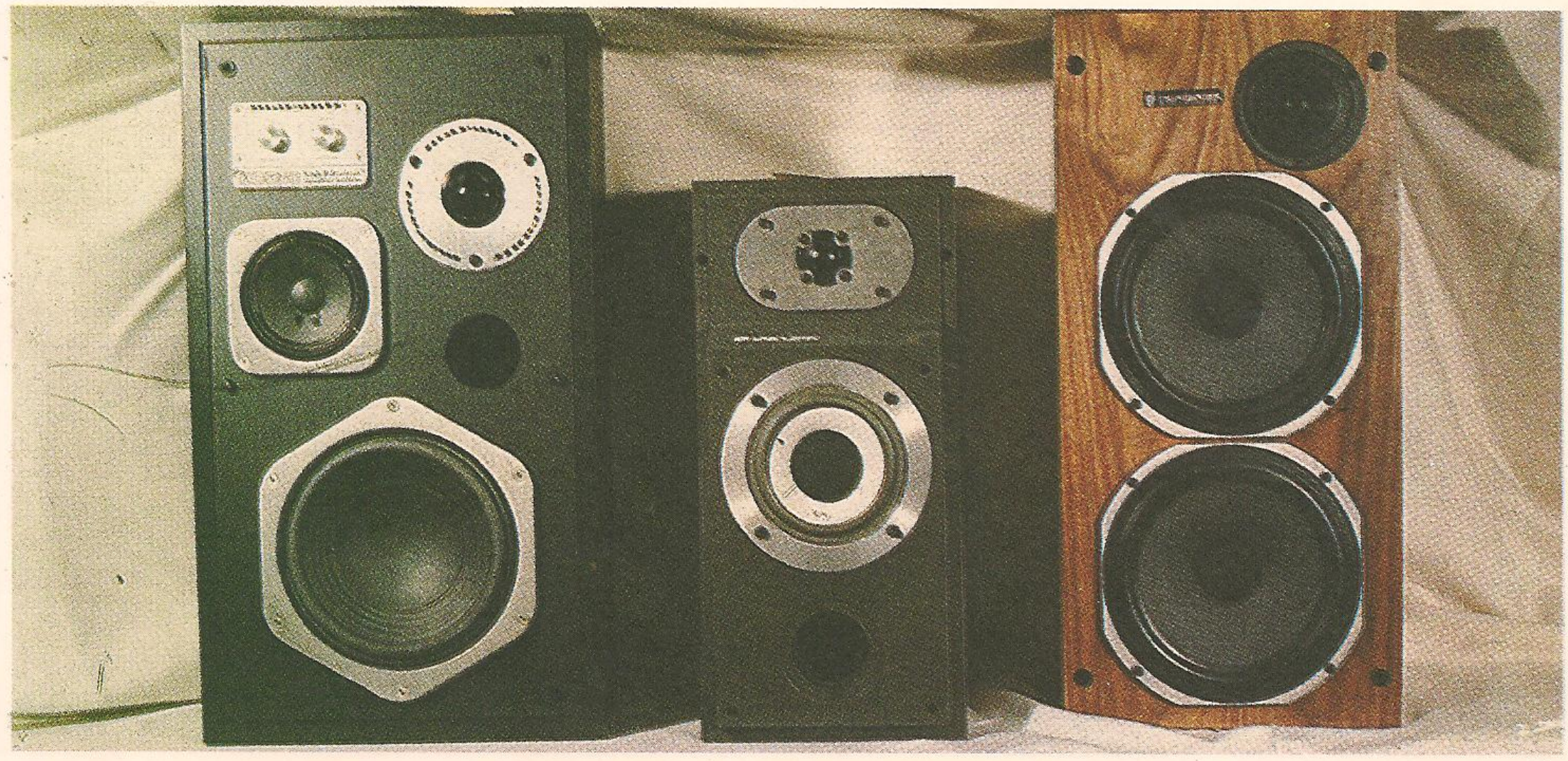
Logicamente, esse nível qualitativo corresponde à idéia de que o som produzido pelo sistema seja o mais semelhante possível ao som original. Isso significa que, no caso teórico do sistema perfeito, seria obtida a mesma sensação sonora tanto ao se tocar um disco de música clássica quanto ao se ouvir diretamente a orquestra na sala de concerto. Esse fato pressupõe que o sistema apresente características muito definidas, pois ele deverá reproduzir com a máxima precisão uma faixa ampla de freqüências e de níveis sonoros, sem introduzir nenhum ruído ou distorção que modifiquem a sensação acústica do ouvinte.

Do que foi dito, deduz-se que muitos dos parâmetros que permitem classificar um sistema sonoro como de alta-fidelidade são, freqüentemente, subjetivos. Na verdade, esses parâmetros correspondem às sensações que um determinado sujeito percebe ou acredita perceber.

A tecnologia eletrônica atual, aplicada à reprodução do som, coloca à disposição dos aficionados uma grande diversidade de equipamentos. Portanto, ao se escolher um determinado sistema, convém verificar se ele corresponde aos requisitos necessários.

Mesmo dentro do grupo de sistemas de alta-fidelidade existem diferenças consideráveis, o que é natural, porque, a partir do momento em que se traça uma linha demarcatória ao longo da escala qualitativa para diferenciar os equipamentos e partindo de um nível alto de qualidade, qualquer melhora-

ABAIXO: os alto-falantes de um conjunto de alta-fidelidade são alojados no interior das caixas acústicas.



mento adicional tem sempre como conseqüência um aumento significativo nos custos.

Qualquer sistema sonoro ou conjunto de alta-fidelidade é constituído por uma série de equipamentos essenciais, que vamos relacionar aqui.

O primeiro elemento, insubstituível, é o **alto-falante**, que funciona como transdutor dos sinais elétricos em sons. A tecnologia atual de fabricação dos alto-falantes, apesar de ter atingido um elevado nível, ainda deixa muito a desejar, se a compararmos à tecnologia dos outros elementos da série. Por essa razão, costuma-se usar mais de um alto-falante para a reprodução do som, de modo que, combinando as características de dois ou mais elementos, se possa obter os resultados desejados. Além disso, os alto-falantes são alojados em caixas, quase sempre de madeira, denominadas **caixas acústicas** (***baffles***, em inglês).

Geralmente, um conjunto de alta-fidelidade apresenta dois ou quatro canais de reprodução, independentes, dando origem aos sistemas estereofônico e quadrifônico, respectivamente, cada um deles necessitando de uma caixa acústica para cada canal.

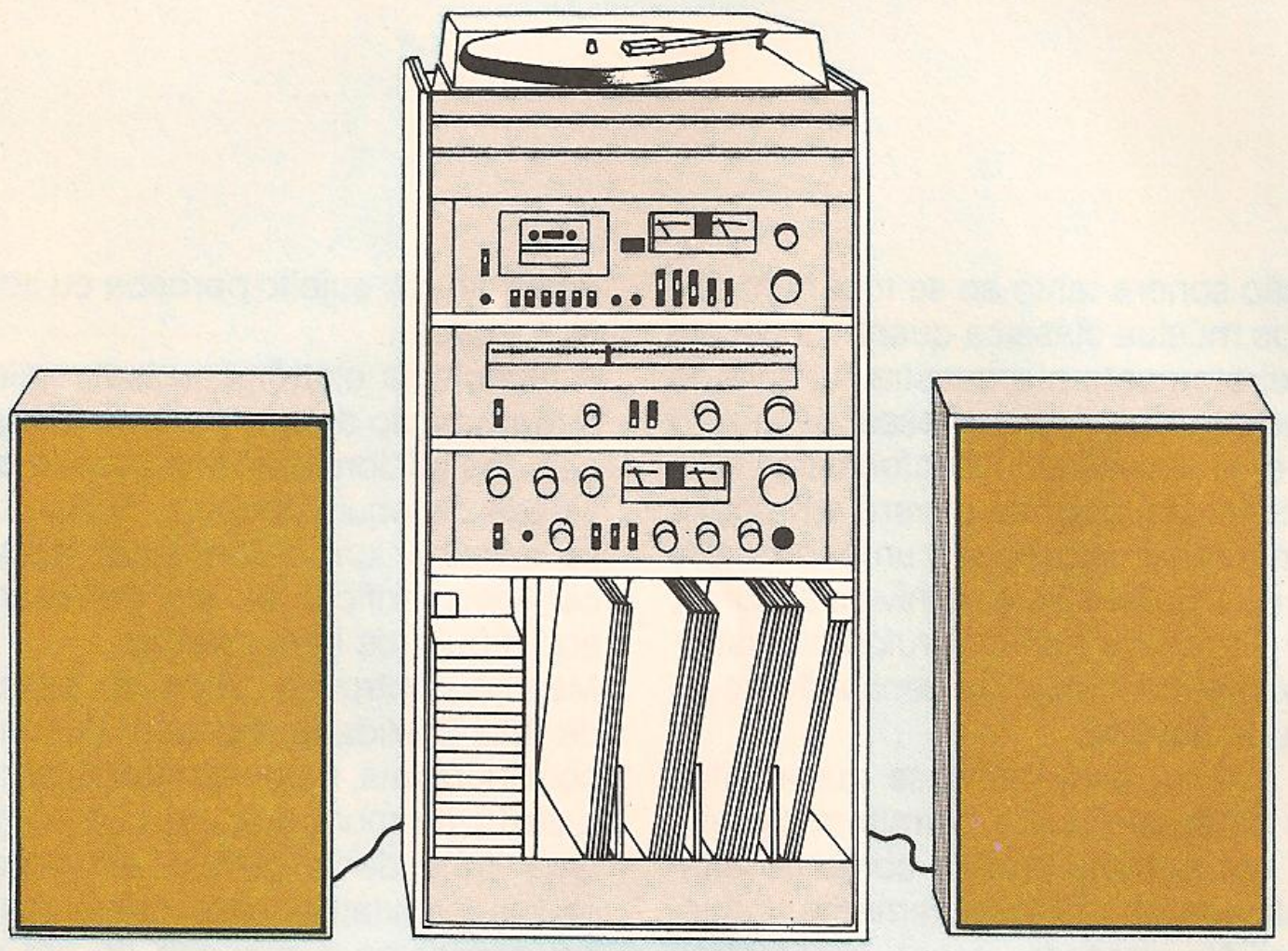
O sinal elétrico é fornecido aos alto-falantes pelo **amplificador de potência**, que recebe um sinal muito fraco da entrada e se encarrega de amplificá-lo suficientemente para obter a potência necessária. O amplificador deve desempenhar essa função sem modificar (ou então modificando o mínimo possível) as características do sinal de entrada.

Os amplificadores de potência devem ser tantos quantos os canais que compõem o sistema, mesmo que um único amplificador possa excitar ao mesmo tempo mais de um alto-falante ou caixa acústica.

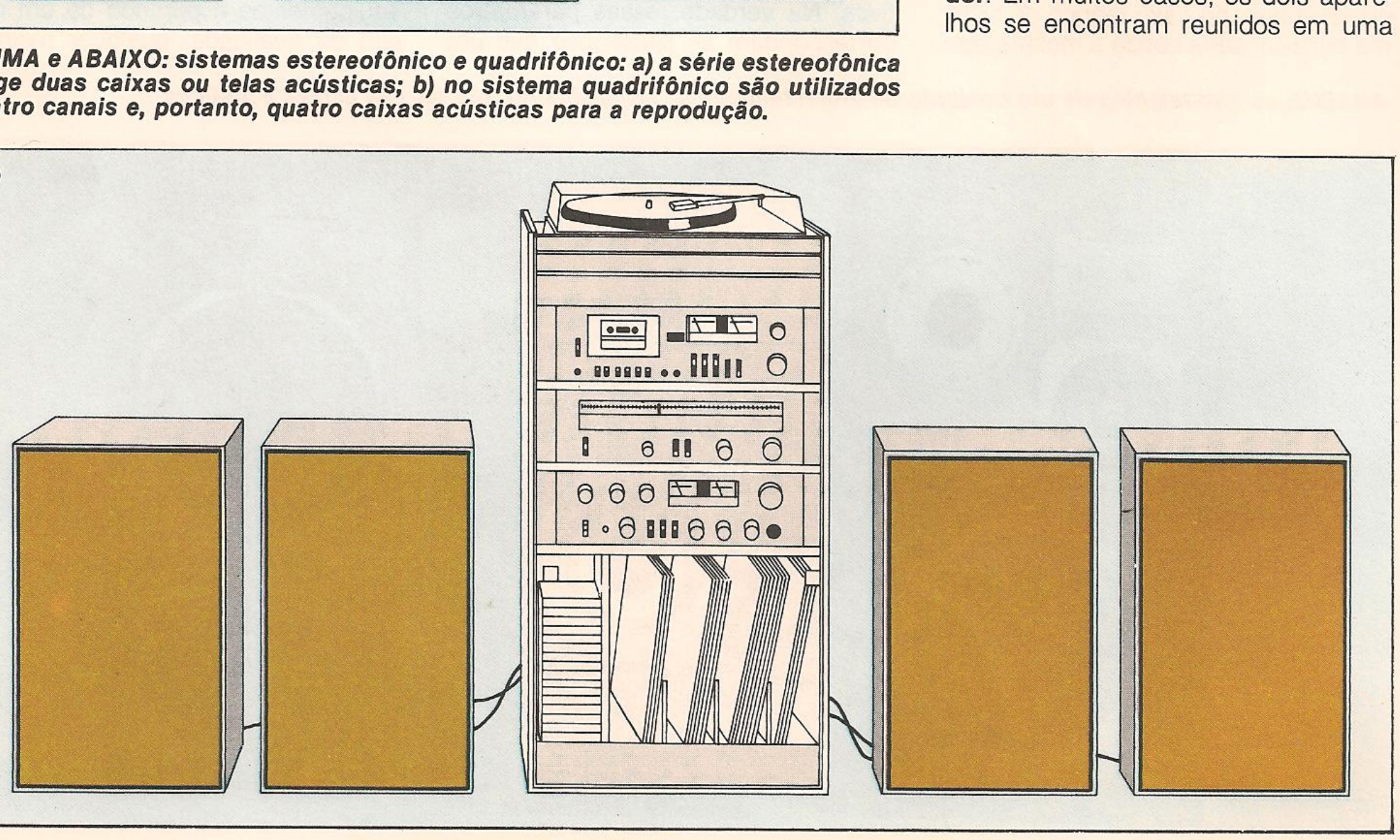
Essa combinação é possível somente nos modelos especialmente projetados para isso, já que os amplificadores de potência dependem das características das caixas acústicas.

Os sinais recebidos na entrada do amplificador de potência provêm de um circuito denominado **pré-amplificador**. Em muitos casos, os dois aparelhos se encontram reunidos em uma

a)



b)



ACIMA e ABAIXO: sistemas estereofônico e quadrifônico: a) a série estereofônica exige duas caixas ou telas acústicas; b) no sistema quadrifônico são utilizados quatro canais e, portanto, quatro caixas acústicas para a reprodução.

única unidade, conhecida como **amplificador integrado**.

As funções próprias do pré-amplificador são muitas. Entre as que são consideradas fundamentais, podemos enumerar as seguintes:

- seleção da fonte de sinal;
- seleção do programa que se deseja ouvir (rádio, fita, disco, etc.);
- controle de volume;
- controle dos filtros de som;
- seleção monoestéreo;
- ligações com as várias entradas.

Conforme o modelo, podem ser oferecidas ainda outras possibilidades, além dessas.

Entre as funções desempenhadas pelo pré-amplificador deve-se destacar a equalização, que serve para modificar o sinal elétrico recebido na entrada, de modo a obter a maior fidelidade possível no momento da transformação do sinal elétrico em som.

As **fontes de sinal** são aparelhos que obtêm o programa sonoro dos suportes, que o produzem ou que o contêm. Na prática, os suportes mais utilizados são os seguintes:

- toca-discos;
- gravadores de fita ou cassete;
- sintonizadores;
- microfones.

O toca-discos transforma a informação contida nos discos em sinais elétricos. Os gravadores de fita ou cassete são destinados à gravação e reprodução de sinais na forma magnética sobre uma fita.

Os sintonizadores de rádio recebem os programas das estações emissoras no suporte formado pelo sinal portador de radiofreqüência e os transformam no sinal de baixa freqüência adequado.

Os microfones captam um determinado som que será sucessivamente ampliado pela série.

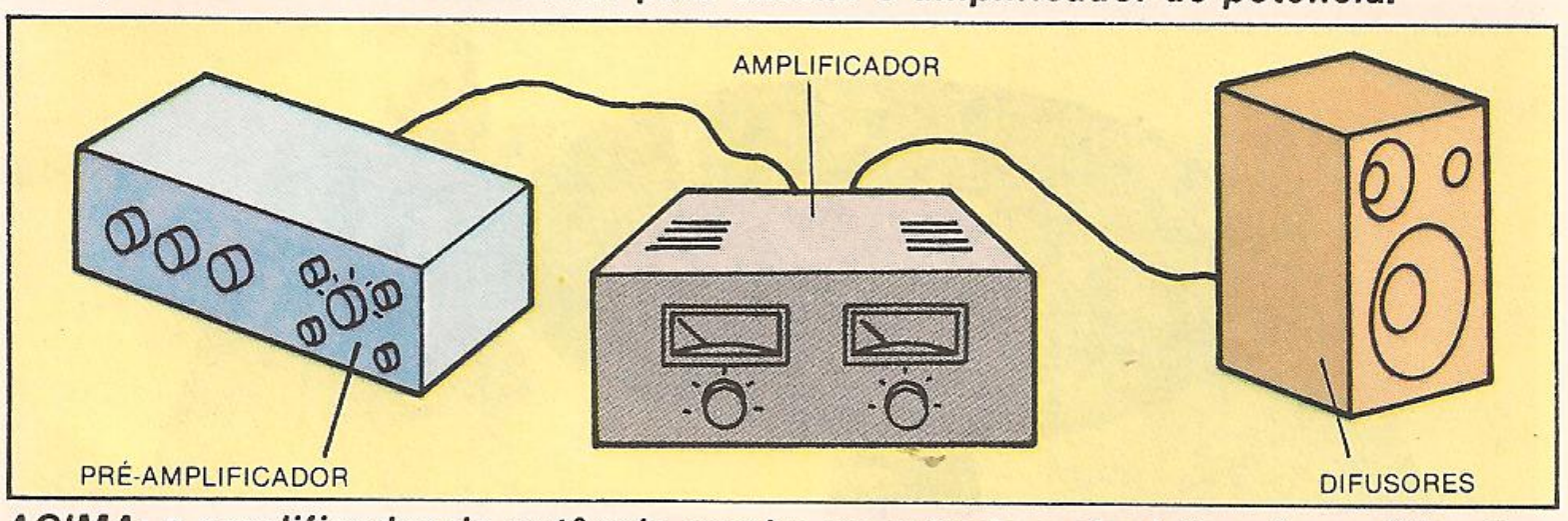
Também devem ser citados outros equipamentos geradores de sinais de áudio, como os instrumentos musicais, órgãos eletrônicos, sintetizadores, etc.

Como já dissemos, os parâmetros fundamentais que caracterizam um sistema de alta-fidelidade são dois: o ruído e a distorção.

O ruído é o sinal gerado pelo sistema quando a entrada é aterrada, isto é, ligada à massa do sistema. A origem do

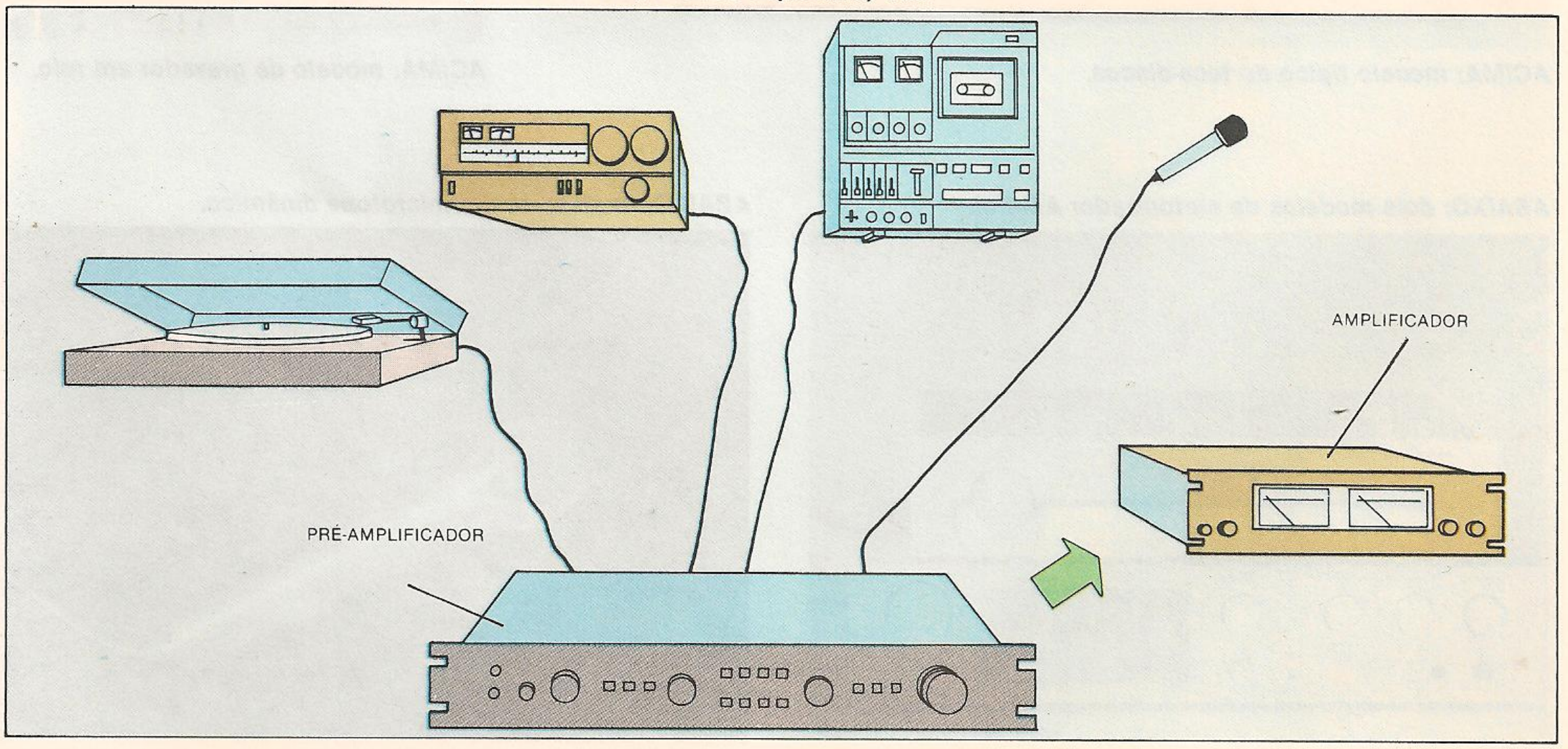


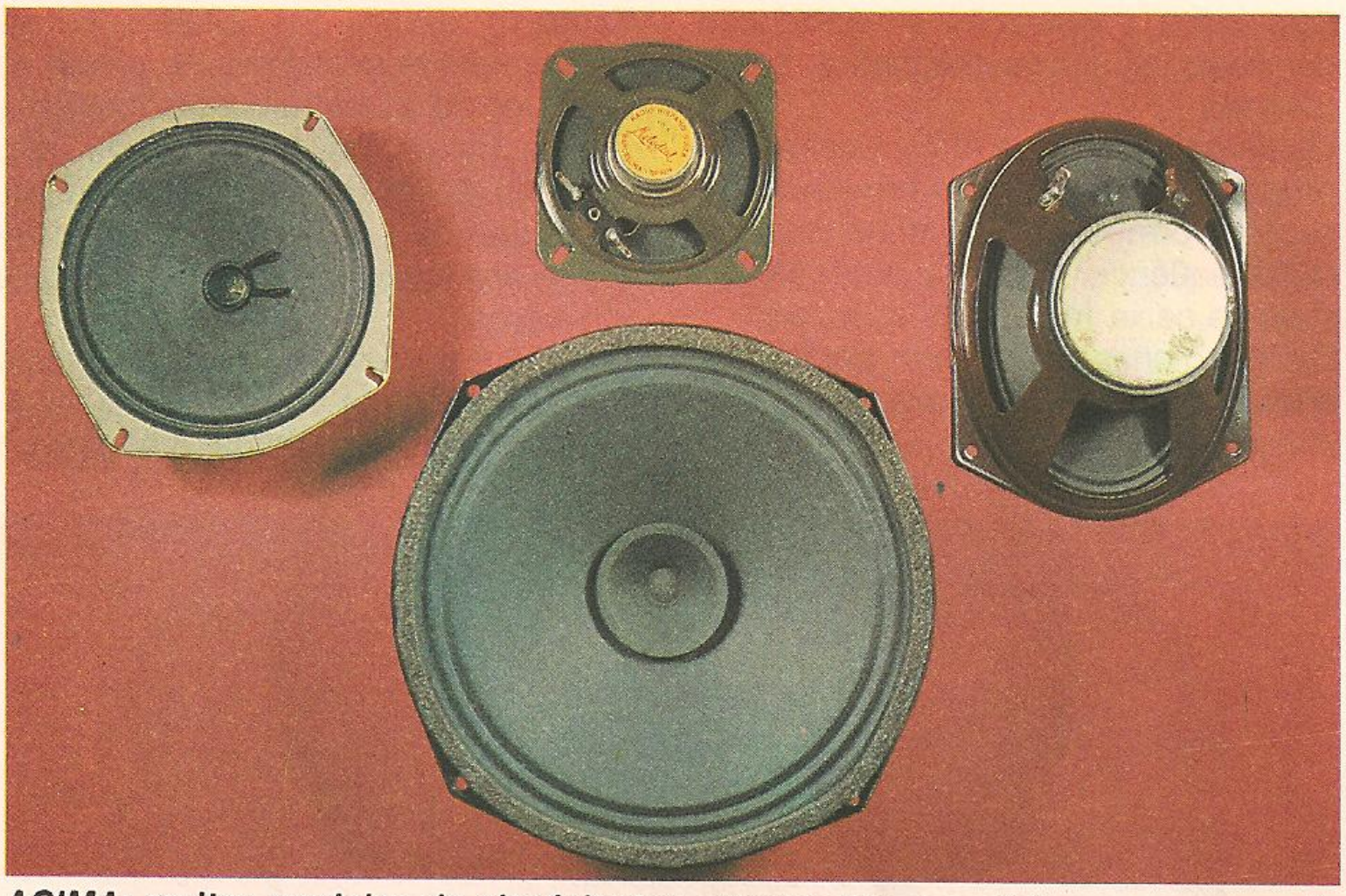
ACIMA: os pré-amplificadores têm a função de receber o sinal da fonte solicitada e transportá-lo em nível suficiente para excitar o amplificador de potência.



ACIMA: o amplificador de potência recebe na entrada o sinal do pré-amplificador, transportando-o num nível adequado para excitar os alto-falantes.

ABAIXO: são várias as funções do pré-amplificador; entre elas, destacam-se a seleção da fonte de sinal, o controle dos volumes e tonalidades, além da equalização de curvas, efeitos especiais, etc.





ACIMA: muitos modelos de alto-falantes empregados nos sistemas sonoros são de média fidelidade.

ruído é variada. A principal delas é o ruído térmico ou eletrônico, gerado pelo funcionamento dos próprios componentes do amplificador.

O nível de ruído presente na saída e aplicado ao alto-falante é medido, geralmente, como tensão equivalente de ruído. Também pode ser medido com o sistema que faz o quociente entre as medidas do sinal e do ruído na saída, expresso em decibel, e conhecido como relação sinal-ruído. Os valores aceitáveis dessa relação devem ser iguais ou superiores a 70 dB.

A distorção exprime o conjunto de modificações não desejadas do sinal e que perturbam a fidelidade da reprodução. Normalmente, os valores mais elevados são obtidos com potência máxima, quando o amplificador está no limite da saturação.



ACIMA: modelo típico de toca-discos.



ACIMA: modelo de gravador em rolo.

ABAIXO: dois modelos de sintonizador AM/FM.



ABAIXO: modelo de um microfone dinâmico.



O FUNCIONAMENTO DA CAIXA ACÚSTICA

Como você já viu em alguns capítulos desta obra, as caixas acústicas desempenham um importante papel no rendimento de qualquer aparelhagem de som. Complemente agora sua análise e saiba como eliminar as interferências que podem surgir durante o processo de reprodução.

Já dissemos, em outro capítulo desta obra, que a caixa acústica representa um dos elementos fundamentais para a obtenção de uma boa reprodução dos sinais elétricos em um equipamento de alta-fidelidade.

Mesmo tendo concepção e construção aparentemente simples, as caixas acústicas são o resultado de uma longa e trabalhosa experimentação dos laboratórios de acústica.

Nesses laboratórios foram definidas as características essenciais que elas devem possuir, com o objetivo de conseguir a reprodução mais fiel possível, até os mínimos detalhes, dos sons originais.

A caixa acústica, ou qualquer outro tipo de difusor sonoro, tem sua necessidade justificada pela operação do próprio alto-falante. Este, quando em funcionamento, faz vibrar seu cone, produzindo uma onda frontal e uma onda posterior.

A onda posterior do alto-falante pode interferir na onda frontal, provocando efeitos sonoros desagradáveis.

Além disso, na maioria dos casos é preciso utilizar alto-falantes diferentes para cobrir de forma eficaz o espectro completo das freqüências audíveis, e esses alto-falantes, por sua vez, podem produzir interferências indesejáveis um no outro.

O primeiro inconveniente (interferência da onda posterior na onda frontal) pode ser solucionado com a montagem dos alto-falantes sobre um anteparo infinito. Esse recurso consiste em construir um anteparo muito grande com um furo aproximadamente do tamanho do alto-falante, buscando dirigir cada onda para lados diferentes do anteparo.

Se a intenção for eliminar completamente as interferências, esse anteparo deverá ter dimensões enormes e, portanto, será difícil de realizar. Uma alternativa mais viável é fazer um furo na parede de dois ambientes contíguos separados acusticamente, mas isso só é possível se a parede divisória tiver uma certa espessura e rigidez, de forma que os volumes de ar contidos em cada ambiente não se misturem, eliminando, assim, as interferências.

Essa solução, na maioria dos casos, é de difícil execução e apresenta, posteriormente, algumas dificuldades na reprodução das freqüências mais baixas. Como é praticamente impossível eliminar a comunicação acústica, deve-se sempre considerar a onda refletida pelo segundo ambiente e calcular se ela produz alguma interferência sobre a radiação frontal.

Se tomarmos uma freqüência de 25 Hz, por exemplo, e se levarmos em

ABAIXO: tabela para a determinação do comprimento de onda de um sinal acústico, em função de sua freqüência.

RELAÇÃO ENTRE COMPRIMENTO DE ONDA E FREQÜÊNCIA

f(Hz)	λ(m)	F	λ	F	λ	f	λ
10	34	180	1,89	1250	0,272	9000	0,0378
20	17	200	1,7	1500	0,227	10000	0,034
30	11,1	250	1,36	1750	0,194	11000	0,0309
40	8,5	300	1,11	2000	0,17	12000	0,0283
50	6,8	350	0,97	2500	0,136	13000	0,0262
60	5,67	400	0,85	3000	0,111	14000	0,0243
70	4,86	450	0,76	3500	0,097	15000	0,0227
80	4,25	500	0,68	4000	0,085	16000	0,0213
90	3,78	600	0,567	4500	0,076	17000	0,02
100	3,4	700	0,486	5000	0,068	18000	0,0189
120	2,83	800	0,425	6000	0,0567	19000	0,0179
140	2,43	900	0,378	7000	0,0486	20000	0,017
160	2,13	1000	0,34	8000	0,0425	25000	0,0136

consideração a velocidade de propagação do som no ar (340 m/s), teremos um comprimento de onda de 340/25 = 13,6 m. Isso indica que a parede mais afastada do alto-falante deve estar, no mínimo, a 3,4 m de distância, para que o caminho percorrido pelo sinal na ida/volta seja igual ao comprimento de onda médio e se some em fase com o sinal frontal.

Uma das soluções que podem ser adotadas para eliminar a onda posterior, e utilizada na maioria das caixas acústicas, é a instalação do alto-falante em uma das paredes.

Com o uso desse recurso, a onda posterior é anulada por completo pelo material absorvente acústico especialmente colocado.

Uma das características mais importantes da caixa está relacionada com o volume de ar que ela contém. Em condições normais, a caixa tem um fechamento relativamente hermético. Assim, o movimento das membranas do alto-falante provoca uma compressão do ar interno, que pode ser desprezado se a quantidade de ar for significativa. À medida que esse volume diminui, a compressão se torna cada vez mais sensível, até começar a influir na operação do próprio alto-falante, que não pode mais mover adequadamente a sua membrana. Isso significa que, dependendo do alto-falante escolhido, há sempre um volume mínimo para a caixa que deve ser respeitado, pois abaixo dele não se consegue obter uma boa reprodução.

O segundo inconveniente (interferência dos alto-falantes uns nos outros) leva à necessidade de utilizar tipos diversos de alto-falantes para reproduzir com fidelidade qualquer freqüência audível. Isso também pode ser resolvido com a caixa acústica, já que podem ser instalados sobre a face frontal quantos alto-falantes se desejar.

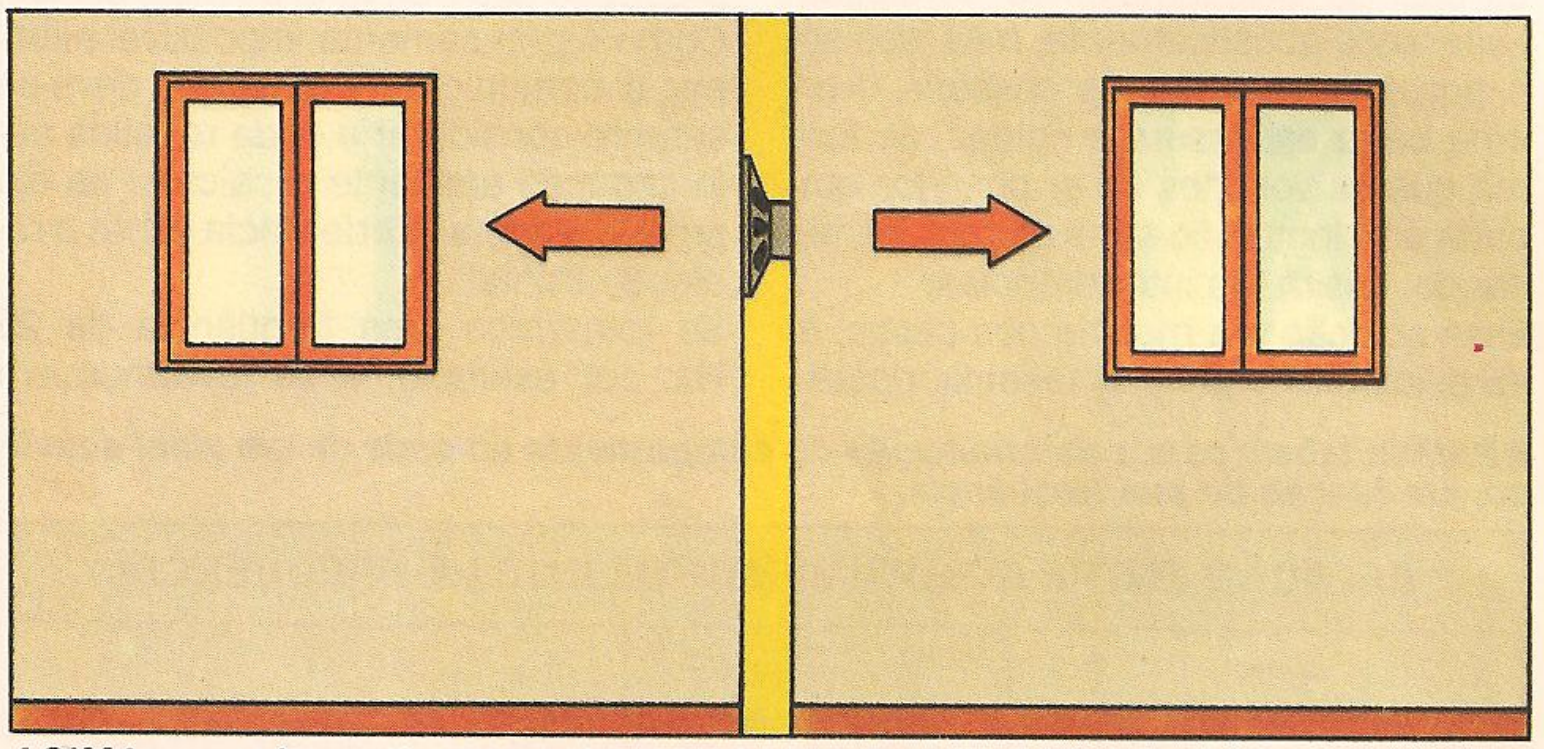
Esse recurso requer, porém, a utilização obrigatória de um filtro divisor de freqüências que forneça a cada alto-falante a faixa de freqüências que cada um deles é capaz de reproduzir sem dificuldades. As impedâncias de todos os alto-falantes devem ser adaptadas, de forma que a impedância resultante seja constante para qualquer freqüência e igual à freqüência de um único alto-falante. Essa impedância resultante deve ser igual à impedância de saída do amplificador.

Apesar do filtro ideal ser aquele que separa completamente as diferentes faixas de freqüência que são enviadas para cada alto-falante ou grupo de alto-falantes, o sistema não pode ser realizado porque, na prática, os filtros passam de uma faixa à outra gradativamente, e não de forma brusca.

Se representarmos graficamente a resposta em freqüência de cada seção do filtro, observaremos que as seções apresentam um gradiente de elevação e um gradiente de diminuição. Este se cruza com o gradiente da seção seguinte em um ponto inferior em 3 dB à potência máxima, ou seja, o equivalente a 50% dessa potência. O ponto de cruzamento denomina-se freqüência de corte do filtro.

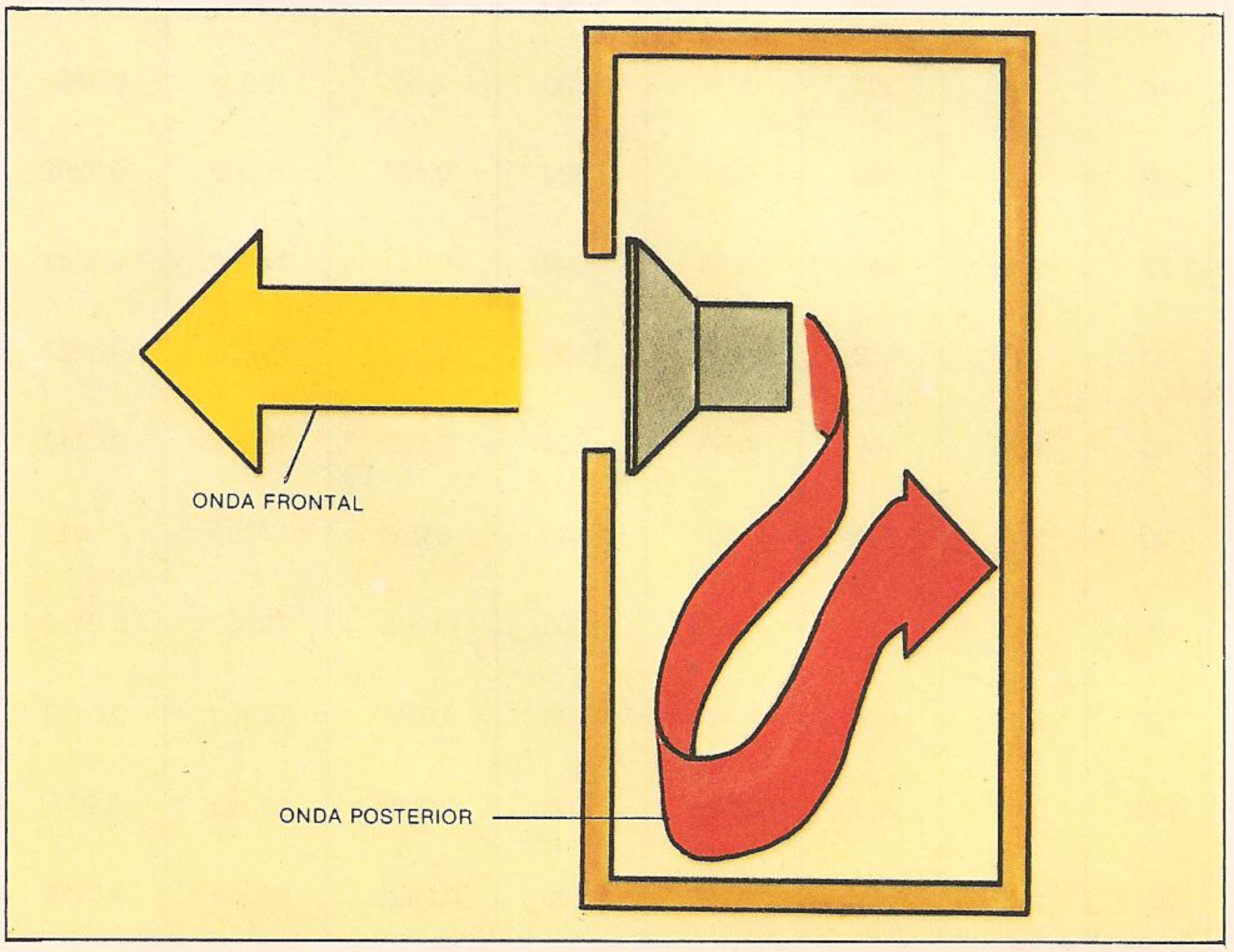
Uma maior ou menor inclinação dos gradientes do filtro dependem do número de componentes que os filtros contêm. Dessa maneira, um filtro composto por uma bobina e por um capacitor apresenta uma forma de diminuição tão acentuada que a atenuação dobra, juntamente com a freqüência, ou o contrário, quando esta se reduz à metade. Isso equivale a uma atenuação de 6 dB/oitava.

Se utilizarmos duas bobinas e dois ca-



ACIMA: uma alternativa para a instalação do alto-falante é colocá-lo em um espaço intermediário entre dois ambientes acusticamente bem separados.

ABAIXO: a caixa acústica é uma ótima solução para a fixação dos alto-falantes, desde que se elimine a onda posterior com o uso de materiais absorventes.



pacitores, o gradiente funciona de modo mais abrupto e seu valor passa para 12 dB/oitava.

Em alguns tipos de filtros são incluídos resistores que servem para adaptar as impedâncias de vários alto-falantes na mesma faixa de freqüência ou para efetuar correções nas freqüências de corte. Esses resistores podem servir ainda, em determinados casos, para fazer, a partir do lado de fora da caixa, uma leve correção que adapta a caixa à posição escolhida.

Em alguns modelos de caixas, os alto-falantes não são colocados sobre uma superfície inteiramente lisa. Ao contrário, a superfície apresenta degraus, de forma que o alto-falante dos graves fica localizado sobre a região mais saliente, o dos médios sobre a região intermediária e o dos agudos sobre a região mais profunda.

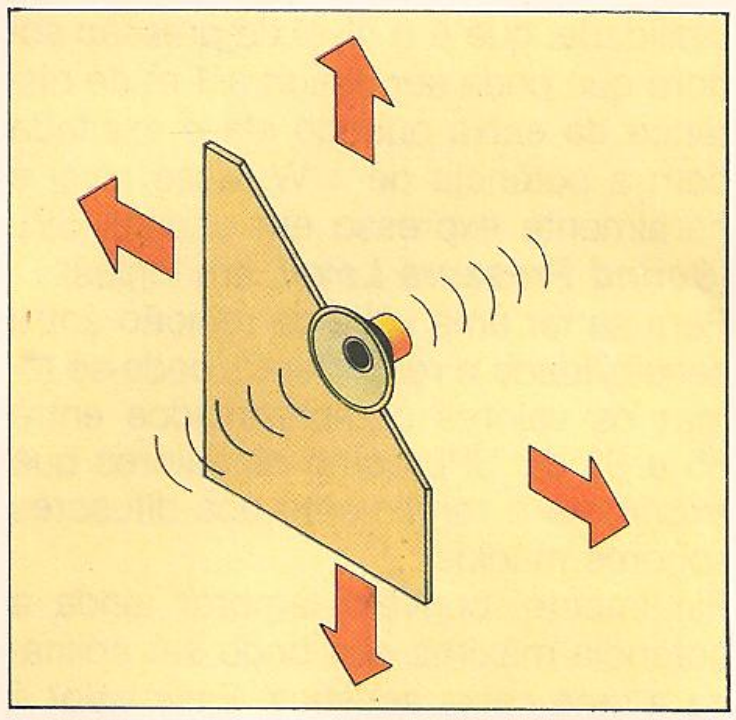
Esse método é adotado para casar a fase de todos os sinais e para obter uma reprodução melhor, já que os sons graves, médios e agudos apresentam comprimentos de onda diferentes. Dessa maneira, os sons são compensados quando chegam ao ouvido humano.

Outra característica importante dos difusores acústicos é a direcionalidade. Suponha que o ouvinte esteja no eixo principal de audição, perpendicular à parede frontal. Quando a audição for feita em uma posição diferente, o som se atenuará um pouco e, em condições de campo livre, é possível até mesmo perdê-lo por completo.

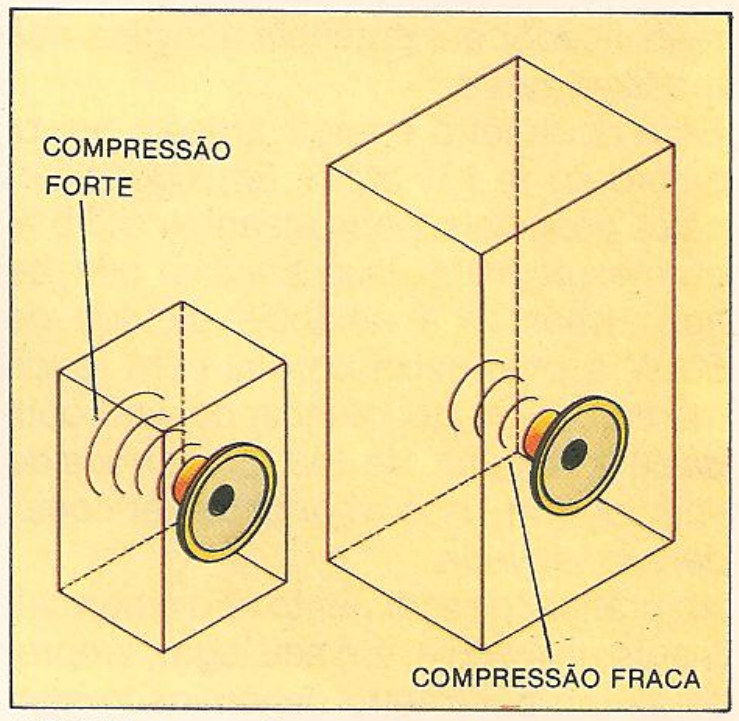
A curva da direcionalidade, conseqüentemente, é obtida quando se representa sobre um diagrama, denominado polar, a amplitude total do sinal ao longo de uma circunferência que cerca a caixa, e sempre a uma distância predeterminada.

Para executar essa curva, são utilizadas diferentes freqüências de teste, e observa-se que (já que os níveis medidos em qualquer direção são quase constantes) os sons graves possuem uma direcionalidade escassa, mas os sons médios e, principalmente, os agudos são mais direcionáveis. Podem ser observadas também grandes perdas de sinal, nos lados do eixo principal, para as freqüências iguais ou superiores a 10 KHz.

Outro fator a ser considerado é o rendimento da caixa. Esse rendimento é a relação entre a potência elétrica sob forma de sinal que lhe é fornecido pelo

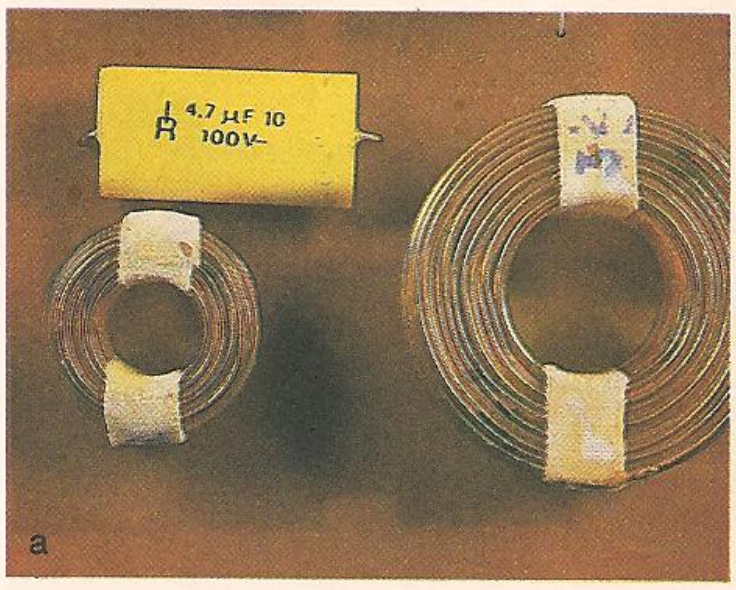


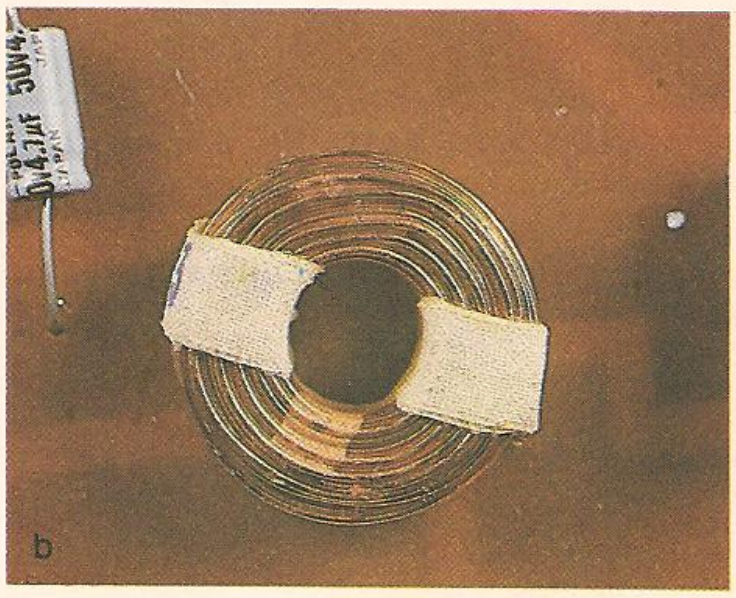
ACIMA: difusor sonoro encarregado da eliminação da radiação posterior do alto-falante. Ele é chamado de difusor com anteparo infinito.

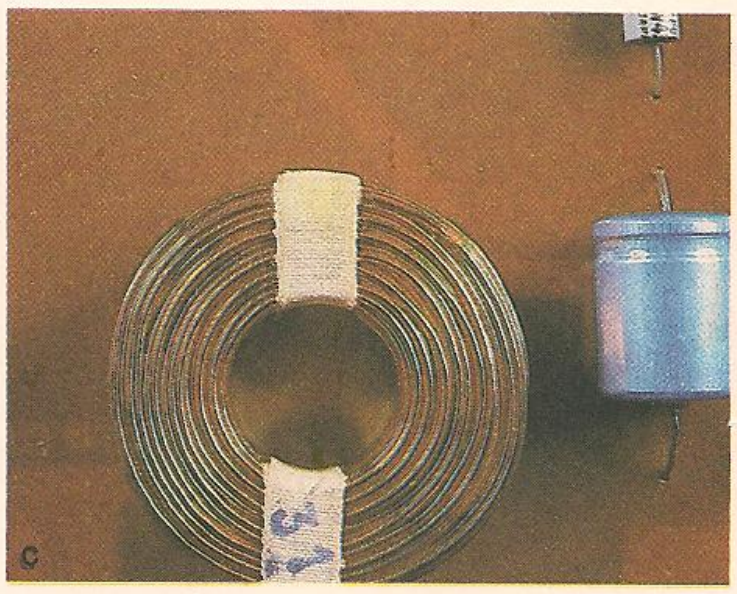


ACIMA: quando o volume de ar contido na caixa é muito reduzido, o alto-falante acentua sua compressão, interferindo na reprodução.

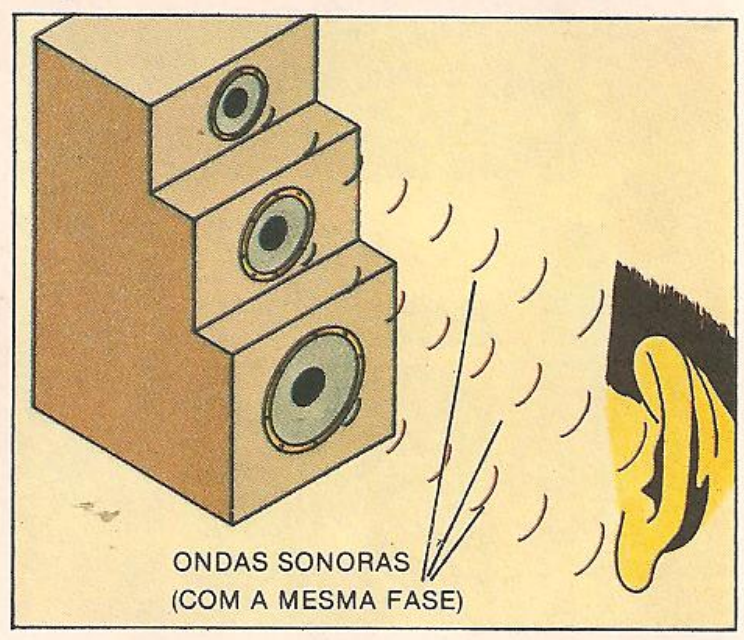
ABAIXO: detalhes dos filtros divisores de freqüências: a) filtro separador dos agudos; b) filtro das freqüências médias; c) filtro dos graves.







ABAIXO: difusor acústico com a face dianteira em degraus, para melhor colocação em fase de seus falantes.



ABAIXO: dispondo os alto-falantes em degraus, consegue-se uma reprodução melhor, pois os diversos comprimentos de onda se compensam e os sons já chegam em fase até o ouvinte.

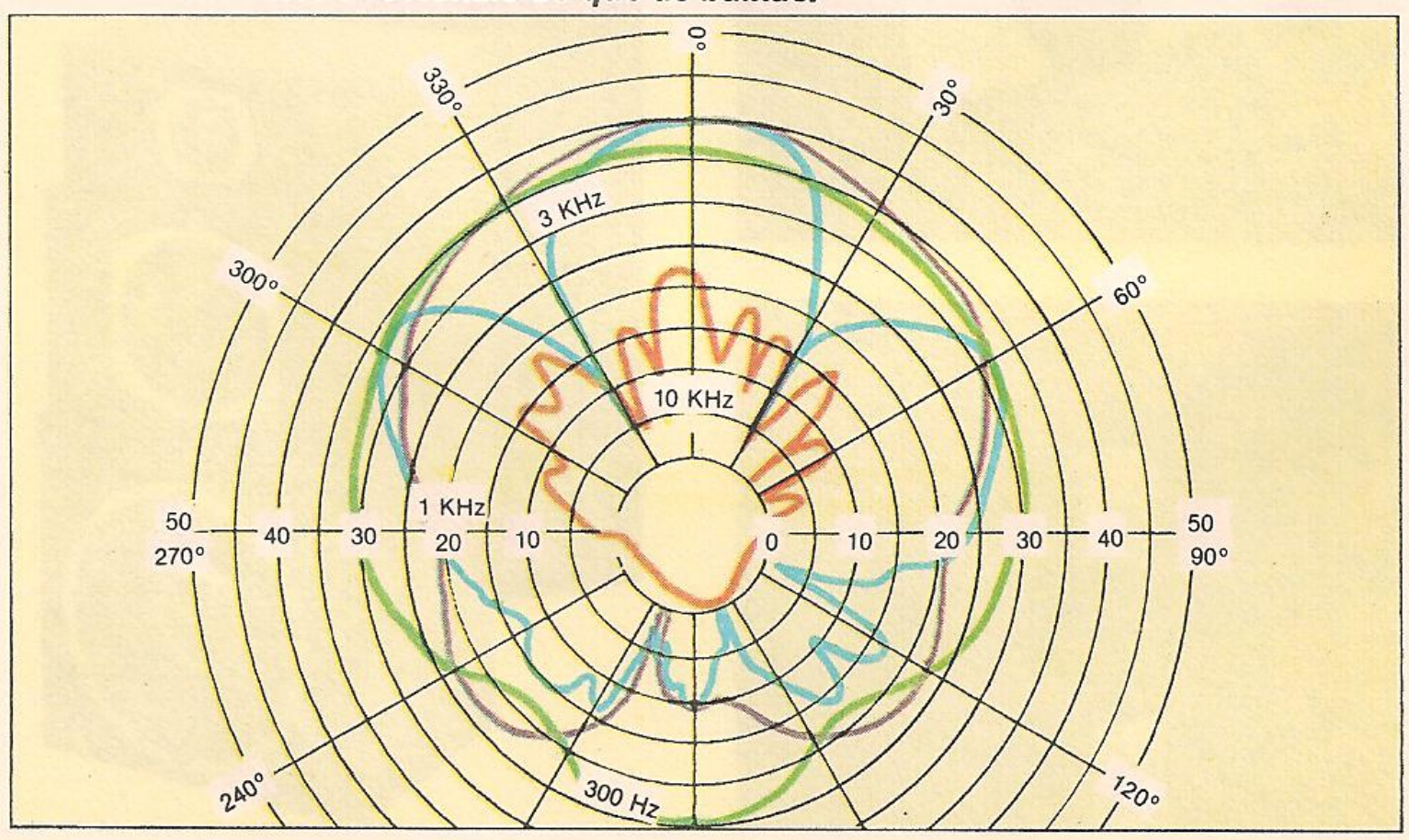


amplificador e a potência acústica que a caixa irradia.
Esse parâmetro é relativamente baixo, da ordem de 1% a 2%. Em alguns modelos especiais, pode alcançar até 5% ou mesmo 10%. Isso significa que, se aplicarmos uma potência elétrica de 50 W a uma caixa normal com rendimento de 2%, a potência de som obtida será somente de 1 W. Em termos de som, porém, esse valor pode ser considerado elevado.
Na prática, o rendimento não é normalmente utilizado e, em seu lugar, emprega-se um parâmetro denominado sensibilidade, que é o nível de pressão sonora que pode ser obtida a 1 m de distânca da caixa quando ela é excitada com a potência de 1 W. Esse nível é geralmente expresso em decibel SPL (***Sound Pressure Level***, em inglês).
Para se ter uma idéia da relação entre sensibilidade e rendimento, pode-se tomar os valores compreendidos entre 85 e 93 dB SPL como os valores que exprimem o rendimento dos difusores sonoros médios.
Finalmente, convém lembrar ainda a potência máxima que pode ser aplicada a uma caixa acústica. Esse valor é perfeitamente definido em cada modelo e depende sempre das dimensões da caixa e dos alto-falantes utilizados, pois é calculado com base na dissipação máxima que a bobina pode suportar, e no volume de ar encerrado na caixa.
Se ultrapassarmos a potência máxima, corremos o risco de danificar o fio esmaltado do enrolamento, provocando curto-circuito em várias espiras ou, então, em circuito aberto. Caso isso ocorra, o alto-falante ficará inutilizado. Eventualmente, até o amplificador sofre danificações.



ACIMA: diferentes tipos e modelos de caixas acústicas. Algumas delas contêm vários alto-falantes para a mesma faixa de freqüências.

ABAIXO: diagrama polar da radiação de uma caixa acústica. Nota-se que as freqüências altas são mais direcionais do que as baixas.



O que é um difusor com anteparo infinito?
É um sistema de disposição dos alto-falantes feito de forma a impedir completamente a escuta da emissão da onda posterior. Esse sistema tem significado apenas teórico.

Como é calculado o comprimento de onda de um sinal acústico?
Utiliza-se um método que consiste em dividir a velocidade de propagação do som no ar, que é de 340 m/s, pela freqüência desse sinal. O resultado expressa em metros o comprimento de onda desejado.

De que forma o volume de ar contido em uma caixa acústica influi na reprodução sonora?
Dependendo dos alto-falantes escolhidos, principalmente o dos graves, e da potência máxima irradiada, ocorre uma compressão do ar contido no interior da caixa que se opõe ao movimento das membranas. Se o volume for pequeno, essa compressão se eleva até o ponto de atenuar o movimento, influindo na operação do alto-falante.

Quais são as funções desempenhadas pelos filtros divisores?
Esses filtros são utilizados para separar as diversas faixas de freqüência (transmitidas por caminhos diferentes para os alto-falantes), fazendo com que cada alto-falante receba sem problemas as freqüências que pode reproduzir. Além disso, os filtros efetuam também a adaptação de impedância entre os alto-falantes e o amplificador.

O que é direcionalidade?
É a capacidade que a caixa acústica possui de irradiar em diferentes direções. Ela incide sobre os sons médios e agudos.