

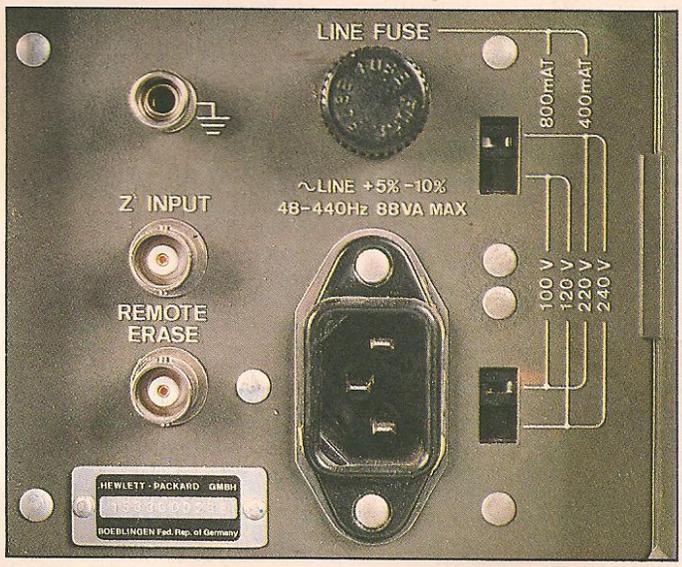
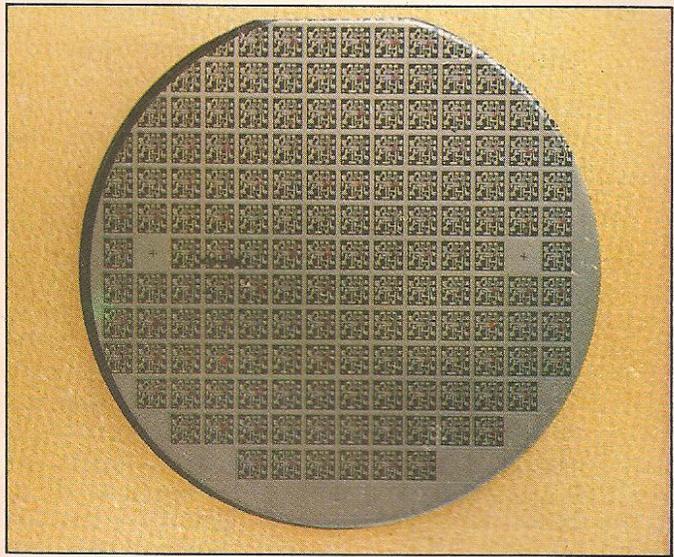
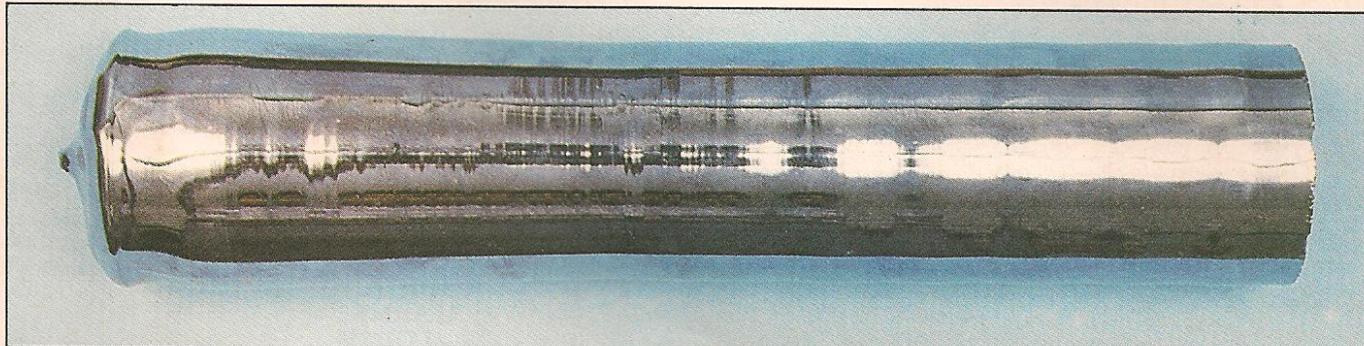
ELETRÔNICA

21

PASSO A PASSO

Cr\$ 2.550

Abril Cultural



COMPONENTES
O CIRCUITO INTEGRADO
MONTAGEM
A CONSTRUÇÃO DE UM
CIRCUITO IMPRESSO
INSTRUMENTAÇÃO
O OSCILOSCÓPIO

GRANDE CONCURSO
O SELO VALE MILHÕES

Colecione fascículos

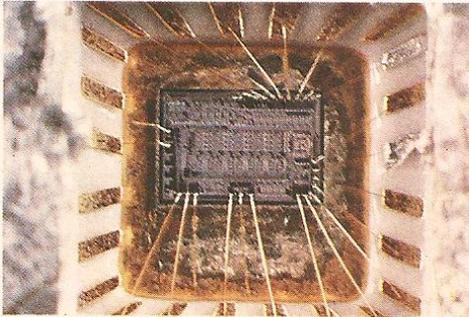
Abril Cultural

Promoção válida somente no território brasileiro

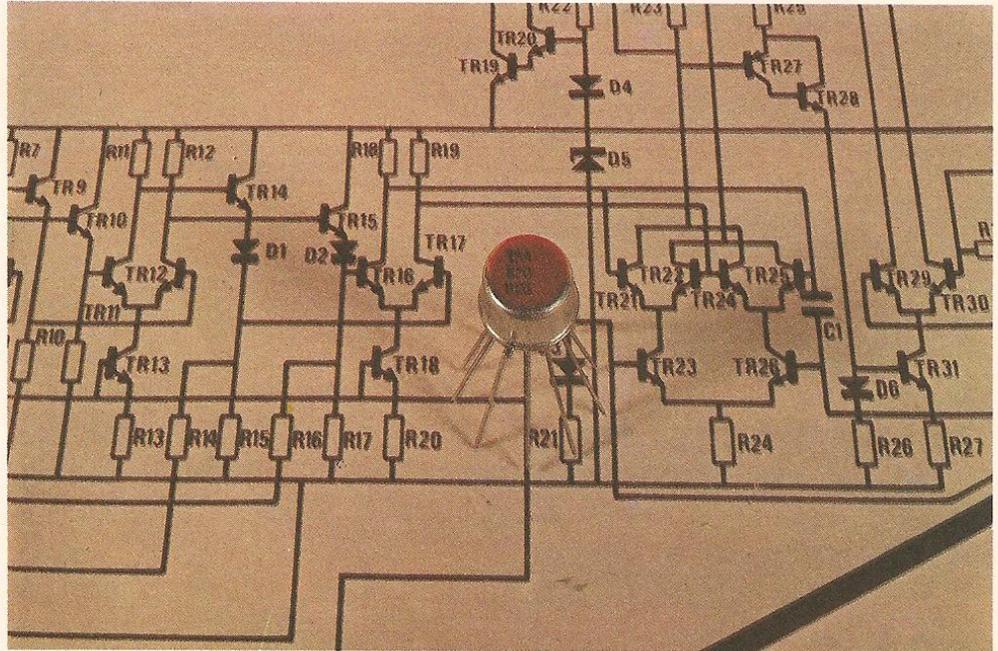
heloisa

O CIRCUITO INTEGRADO (1)

Em muitas das montagens apresentadas até agora, você ouviu falar de um componente chamado circuito integrado. Nós mostraremos aqui a importância desse circuito na moderna eletrônica.



ACIMA: fotografia ampliada de um substrato em que se pode observar os componentes integrados e os fios de sua ligação com os terminais externos.



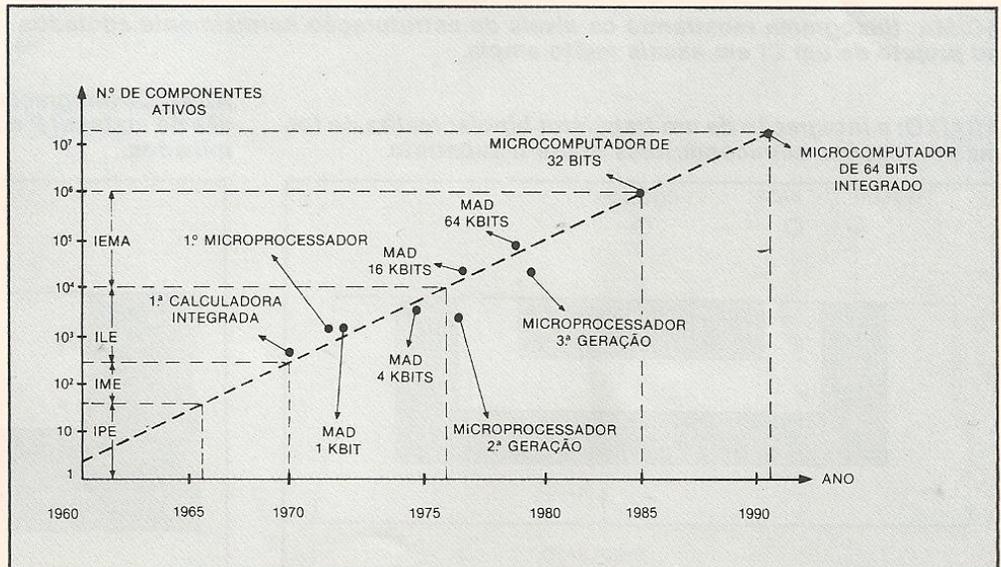
ACIMA: um circuito integrado contém um conjunto de componentes inter-relacionados, para realizar uma função específica, sobre um suporte comum chamado substrato.

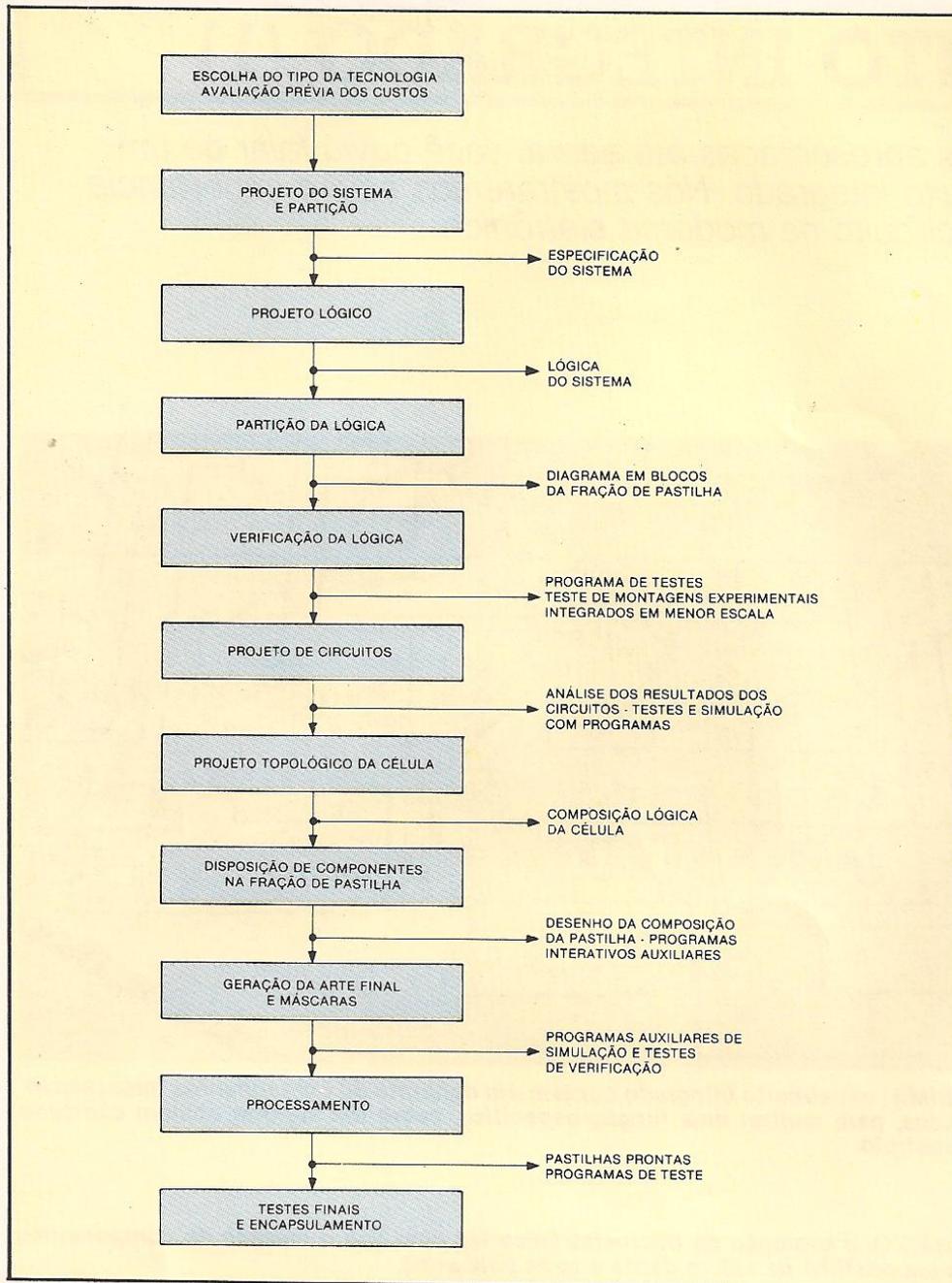
Os circuitos integrados (CIs) constituem uma das áreas da eletrônica que têm sofrido os maiores progressos nas últimas décadas, e, sem dúvida, esse progresso continuará ainda pelas próximas décadas. A evolução dos circuitos integrados tem sido tão rápida e intensa que o número de componentes de uma pastilha de CI, a partir de 1960, tem dobrado a cada dois anos, e deverá atingir, até 1990, a quantidade de 4 milhões de componentes.

A concepção básica dos circuitos integrados consiste na substituição de todo um conjunto de componentes individuais (denominados componentes ou dispositivos discretos), que realizam determinada função em termos de circuito, por um novo circuito, inteiramente colocado numa pastilha de material semiconductor (CI monolítico). Esse circuito, externamente, apresenta-se como um único componente, mas, na realidade, está projetado para executar a mesma função do circuito construído com componentes discretos.

Um circuito integrado, portanto, contém, de forma miniaturizada, um número de dispositivos igual ou superior ao

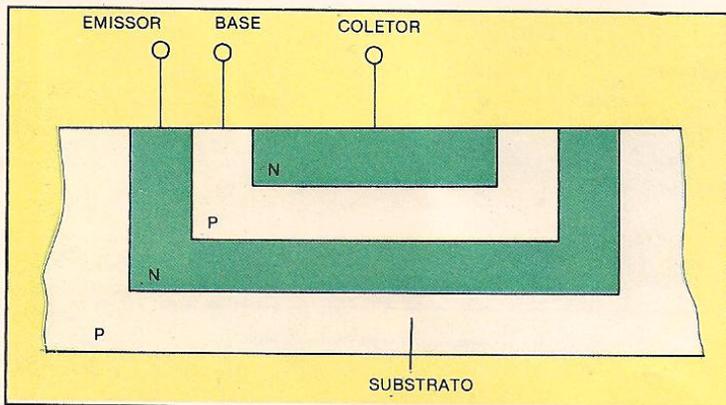
ABAIXO: a evolução da microeletrônica faz com que o número de componentes numa pastilha de silício dobre a cada dois anos.



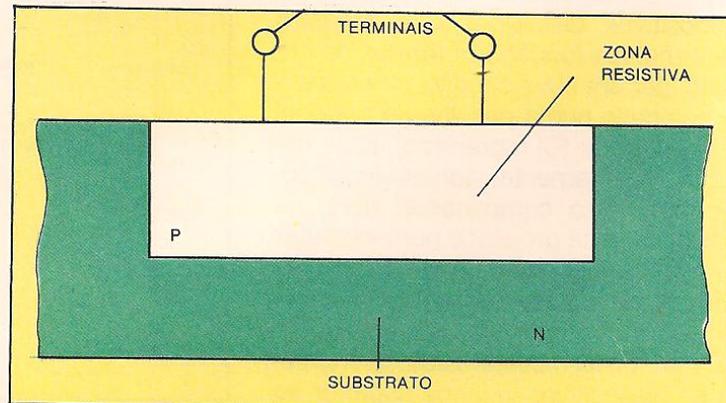


ACIMA: fluxograma mostrando os níveis de estruturação normalmente adotados no projeto de um CI em escala muito ampla.

ABAIXO: a integração de um transistor bipolar realiza-se formando junções semicondutoras sobre o substrato.



ABAIXO: integração de um resistor sobre o substrato, através de material P ou N, com largura e comprimento predeterminados.



número de seu circuito equivalente, construído com dispositivos discretos. A diferença está no fato de que, além do tamanho reduzido, todos esses componentes estão numa pastilha encerrada em um invólucro comum. A pastilha de semiconductor que serve de sistema de apoio aos CIs, e onde são fabricados os dispositivos desses CIs, é denominada **substrato**.

Os circuitos integrados monolíticos são formados por uma pastilha (bloco de material semiconductor ou substrato) na qual são construídas suas diversas partes. As técnicas utilizadas para a construção das partes dos CIs são técnicas especiais de fotografia associadas a técnicas de difusão de impurezas tipo P ou N no semiconductor. Essas técnicas são uma generalização dos procedimentos anteriormente adotados para a fabricação de diodos, transistores e outros componentes semicondutores discretos.

A enorme redução de peso e volume, decorrente da tecnologia de **Integração em Escala Muito Ampla (IEMA) (Very Large Scale Integration, VLSI**, em inglês), possibilitou a miniaturização dos circuitos eletrônicos, permitindo a colocação de circuitos extremamente complexos em uma única pastilha de silício. Com isso, tornou-se possível montar sistemas eletrônicos, associando-se apenas alguns circuitos integrados, como é o caso das máquinas de calcular e dos microcomputadores atuais.

Com a utilização generalizada dos CIs, verificou-se uma mudança radical nos conceitos de projetos e na fabricação dos circuitos eletrônicos. Atualmente, para o especialista em eletrônica,

torna-se necessário um conhecimento mais profundo, tanto dos componentes discretos quanto dos blocos funcionais integrados, tendo em vista que ambos estão associados em qualquer equipamento eletrônico moderno — analógico ou digital.

O projeto em um CI complexo requer o auxílio de um sistema de programas de computador, denominado **Projetos Auxiliados por Computador (PAC) (Computer Aided Design, CAD, em inglês)**.

O projeto inicia-se pela especificação funcional do sistema eletrônico a ser integrado, ou seja, pela especificação de forma precisa e matemática do que se deseja que o sistema faça. Passa-se, então, à construção de um diagrama em blocos do sistema eletrônico, definindo-se a complexidade desses blocos.

Ao mesmo tempo, estuda-se a sua distribuição na superfície da pastilha de semicondutor, delimitando-se o que se chama de plano básico do CI.

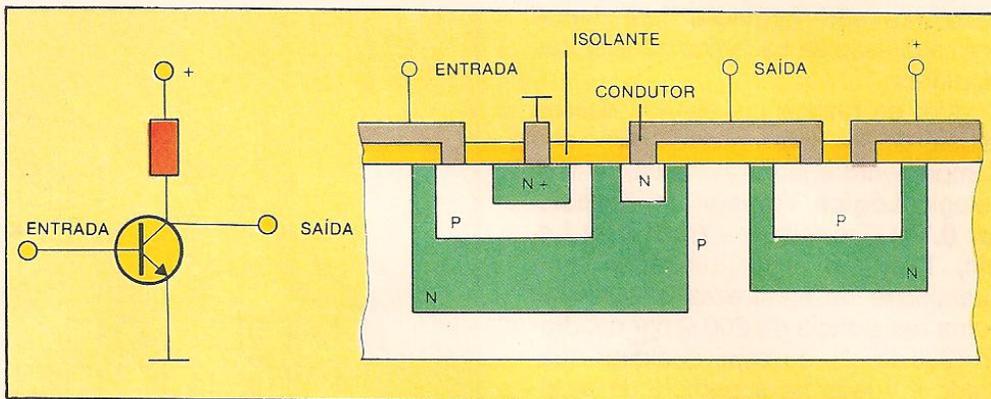
Com isso, tem-se uma idéia de como serão as interligações e a propagação dos sinais entre os blocos que constituirão o circuito integrado. Esse é um dos problemas mais sérios a ser enfrentado quando se projeta CIs com mais de 100000 dispositivos.

Encerrado o nível de definição dos blocos, passa-se aos níveis de definição dos circuitos. Esses circuitos são formados por transistores, resistores e diodos, sendo que, às vezes, são utilizados capacitores e, muito raramente, indutores.

Os capacitores são pouco usados devido à área muito grande que ocupam. Já os indutores são difíceis de serem construídos em CIs; por isso, só são utilizados em circuitos que operam em altíssima frequência (CIs híbridos, os quais serão comentados nos próximos capítulos).

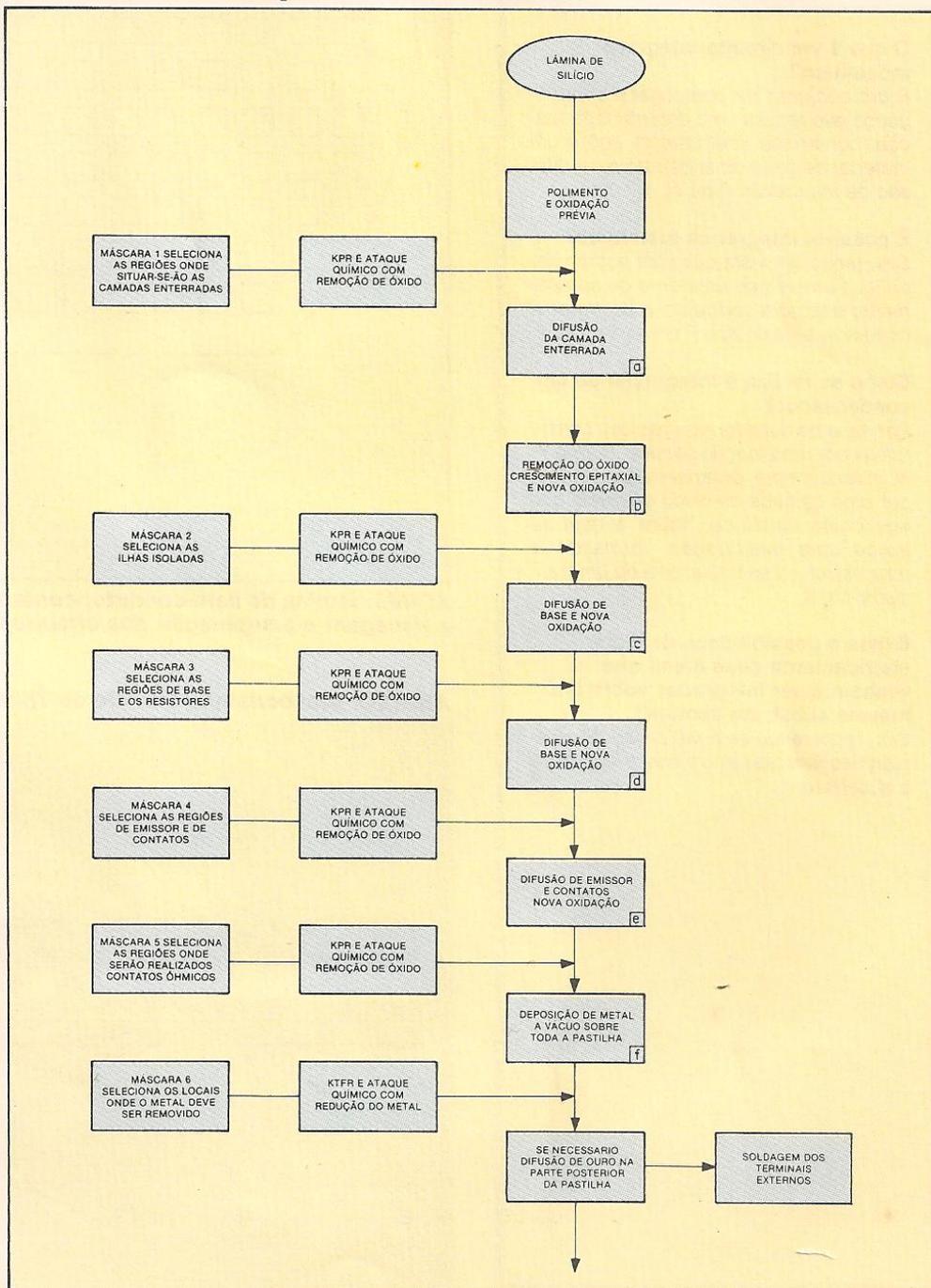
Os circuitos integrados monolíticos, como vimos, são os CIs construídos em uma única pastilha de semicondutor. Por meio de uma técnica especial de fotografia, é indiferente construir transistores, diodos ou resistores. Assim, nos CIs modernos, a tendência é utilizar apenas transistores nos circuitos, pois ocupam menos espaço que os resistores.

Os componentes da pastilha de semicondutor são formados e isolados entre si por meio de sucessivas junções semicondutoras. De um modo geral, os



ACIMA: no desenho à esquerda, exemplo de integração de um estágio transistorizado; à direita, corte transversal do transistor e do resistor.

ABAIXO: fluxograma mostrando as sucessivas etapas de aplicação do processo planar usado na fabricação de CIs da família LTT.



resistores são formados juntamente com a difusão da base dos transistores bipolares.

O valor da resistência elétrica desses resistores é determinado pelo seu comprimento e largura. Assim, na tecnologia **Lógica Transistor - Transistor (LTT) (Transistor - Transistor Logic, TTL**, em inglês) utiliza-se uma quantidade de impurezas que resulte numa resistência de 200Ω por quadrado ($200 \Omega/\square$), ou seja, qualquer quadrado formado na superfície da pastilha tem uma resistência de 200Ω . Um resistor de $10 K\Omega$ é obtido por uma se-

O que é um circuito integrado monolítico?

É um conjunto de componentes interligados que realiza uma determinada função, construído inteiramente sobre um material de base ou substrato para difusão de impurezas P ou N.

É possível integrar os resistores?

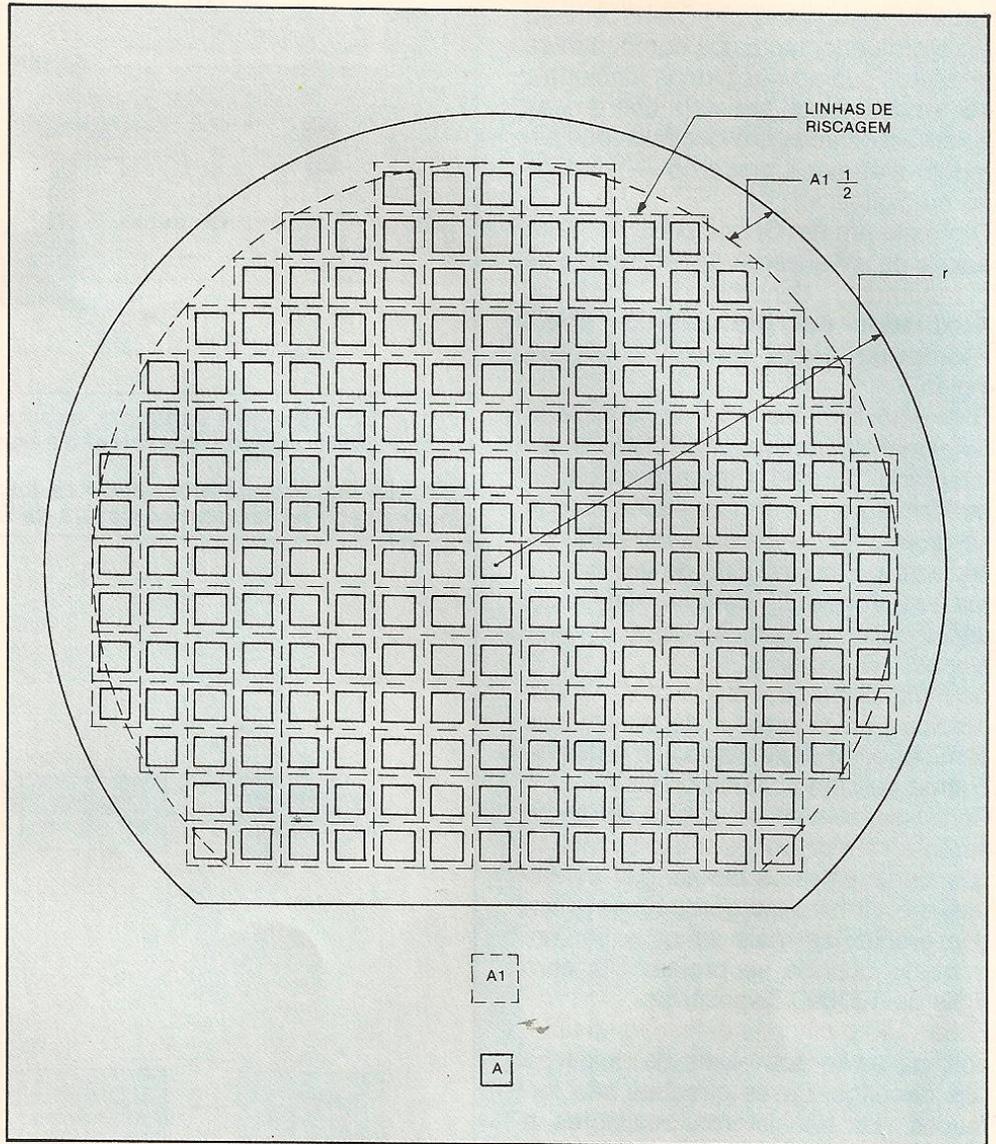
Sim, tendo em vista que eles podem ser obtidos através de uma área de comprimento e largura controlados de material condutor, seja do tipo P como do tipo N.

Como se realiza a integração de um condensador?

Por meio de duas formas básicas constituídas por uma junção semicondutora P-N inversamente polarizada ou, então, por uma camada de óxido de silício que age como dielétrico, sobre a qual se aplica uma metalização, formando-se uma estrutura semelhante à de um transistor MOS.

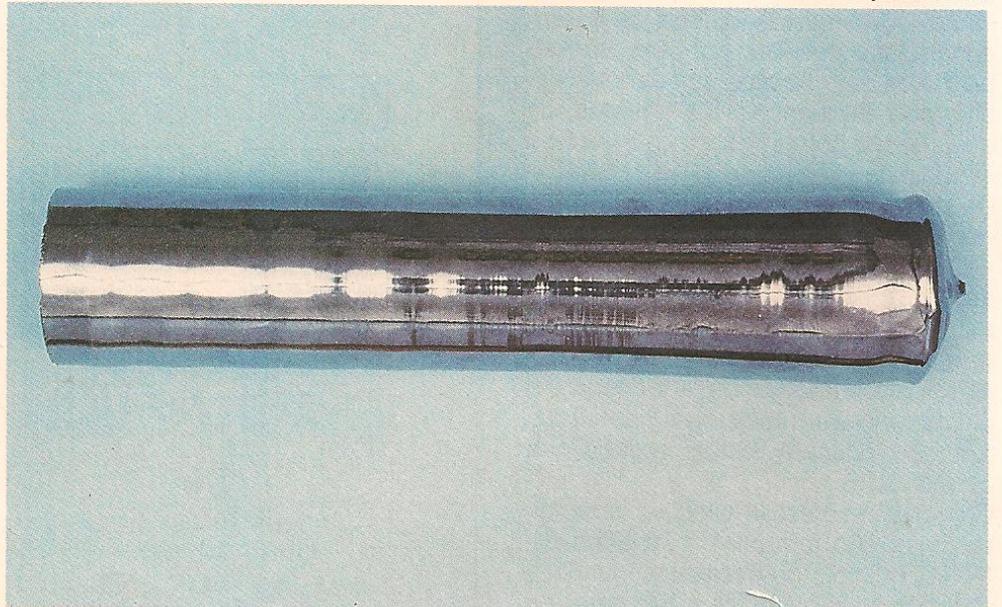
Existe a possibilidade de isolar eletricamente duas áreas que venham a ser integradas sobre um mesmo substrato comum?

Sim, recorrendo-se à utilização de polarizações inversas entre essas regiões e o substrato.



ACIMA: lâmina de semicondutor contendo pastilhas de CIs isolados, para permitir a riscagem e a separação dos circuitos integrados.

ABAIXO: monocristal de silício de 76 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento.



qüência de 50 quadrados, isto é, ele tem uma relação comprimento/largura de 50.

Os capacitores num CI monolítico são obtidos de duas formas diferentes: a) utilizando uma junção reversamente polarizada; b) construindo um capacitor MOS (metal óxido semiconductor), já que o óxido de silício é um excelente dielétrico.

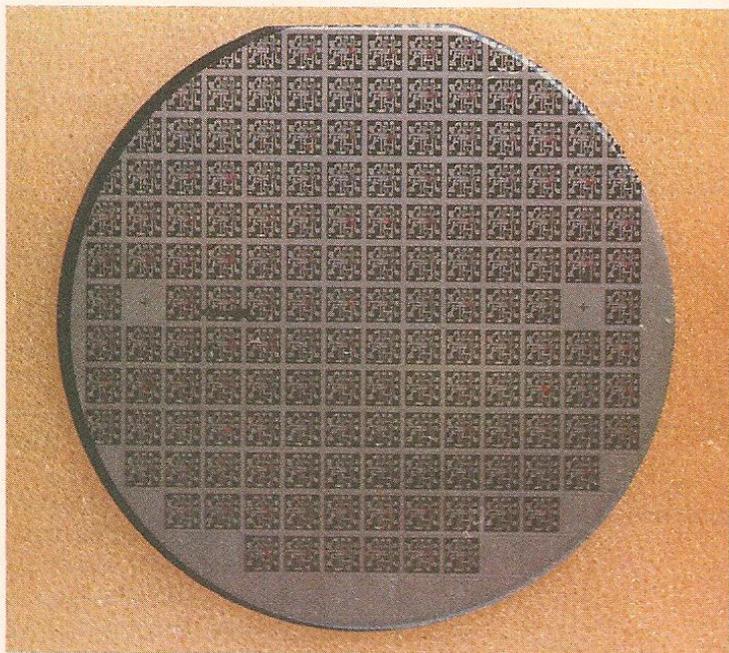
As diferentes partes do substrato de um circuito integrado podem ser isoladas por junções reversamente polarizadas. Na tecnologia LTT, por exemplo, faz-se o substrato P o mais negati-

vo possível, de modo que todas as junções entre regiões N e substrato P estejam reversamente polarizadas. Outras tecnologias, como a tecnologia MOS, apresentam isolação automática entre os dispositivos do CI colocados no mesmo substrato.

Embora existam uns poucos tipos de CIs que utilizam tanto dispositivos bipolares quanto dispositivos MOS, a quase totalidade dos CIs utiliza apenas um outro tipo de dispositivo.

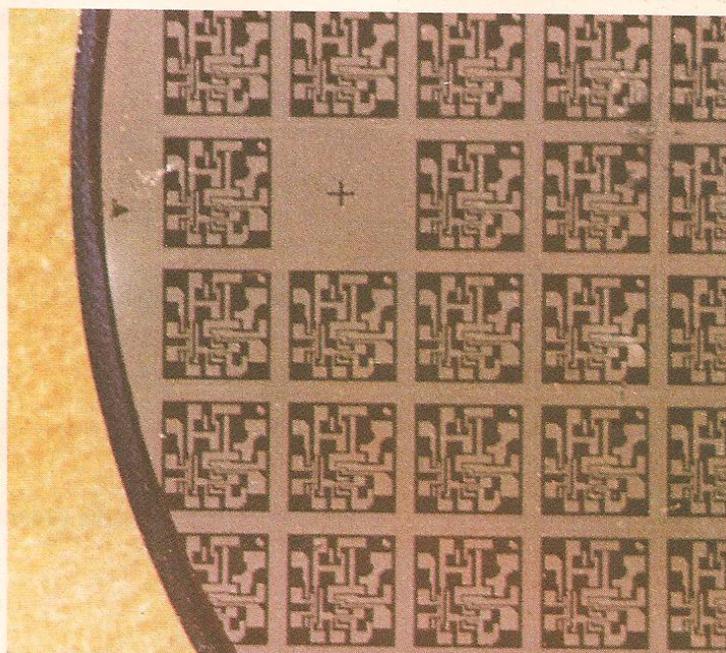
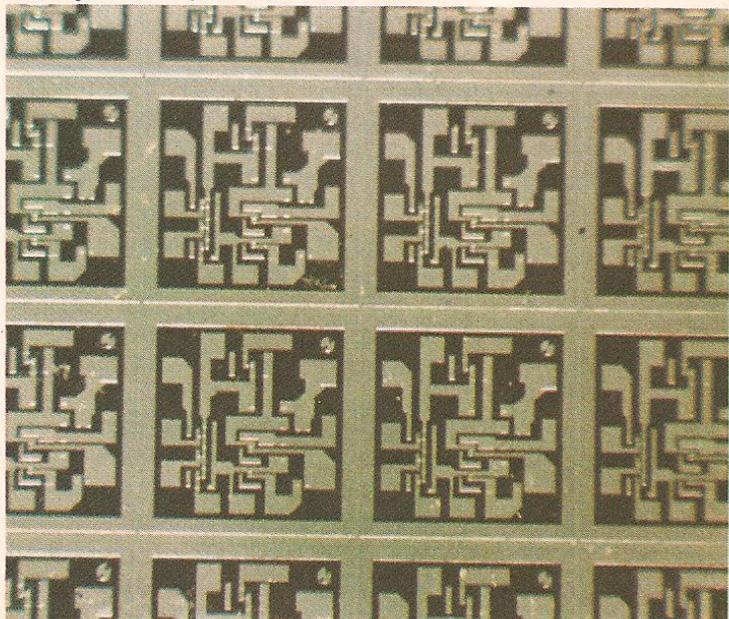
Para circuitos integrados que utilizam o silício como semiconductor básico (existem CIs de arsenieto de gálio), o ponto

de partida é um monocristal. Esse monocristal possui forma cilíndrica, com diâmetro de 10 a 15 cm e comprimento que pode atingir 1 m. O monocristal é, então, cortado em lâminas circulares. A espessura dessas lâminas varia de 0,2 a 0,5 mm. As lâminas sofrem um polimento especular em uma das superfícies, onde posteriormente serão construídos os CIs. Cada lâmina pode conter de 100 a 800 CIs, dependendo das dimensões das pastilhas. No caso de transistores discretos, o número de CIs fabricados em uma lâmina pode ultrapassar 10000.



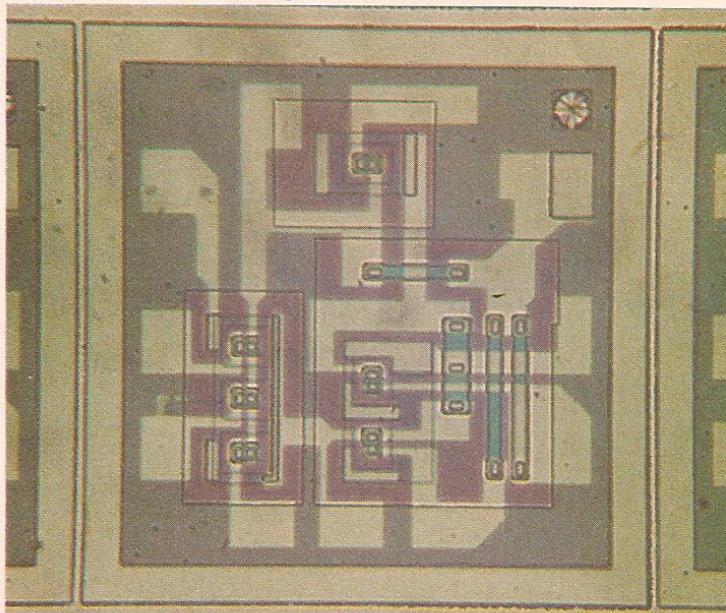
ACIMA: lâmina com circuitos integrados em pequena escala, tecnologia bipolar.

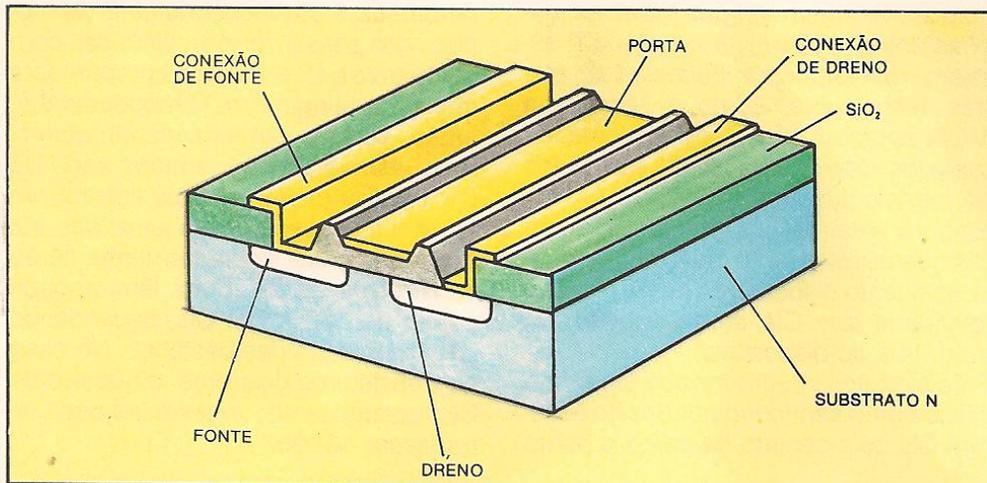
ABAIXO: detalhe da lâmina de silício, destacando-se as metalizações das pastilhas dos CIs.



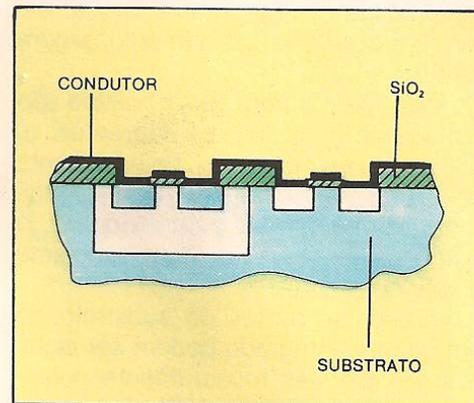
ACIMA: segmento de uma lâmina de silício contendo CIs difundidos e metalizados.

ABAIXO: pastilha de um CI. Nota-se as metalizações e as terminações para a soldagem dos fios externos.

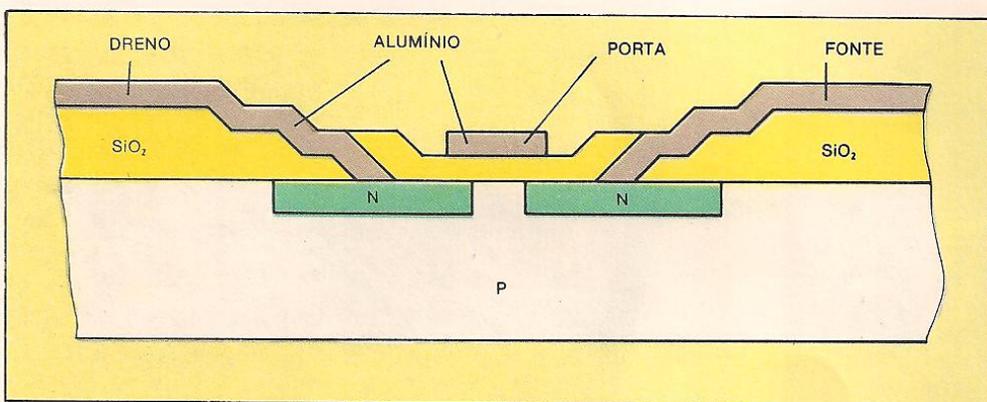




ACIMA: estrutura interna de integração de um transistor P-MOS.

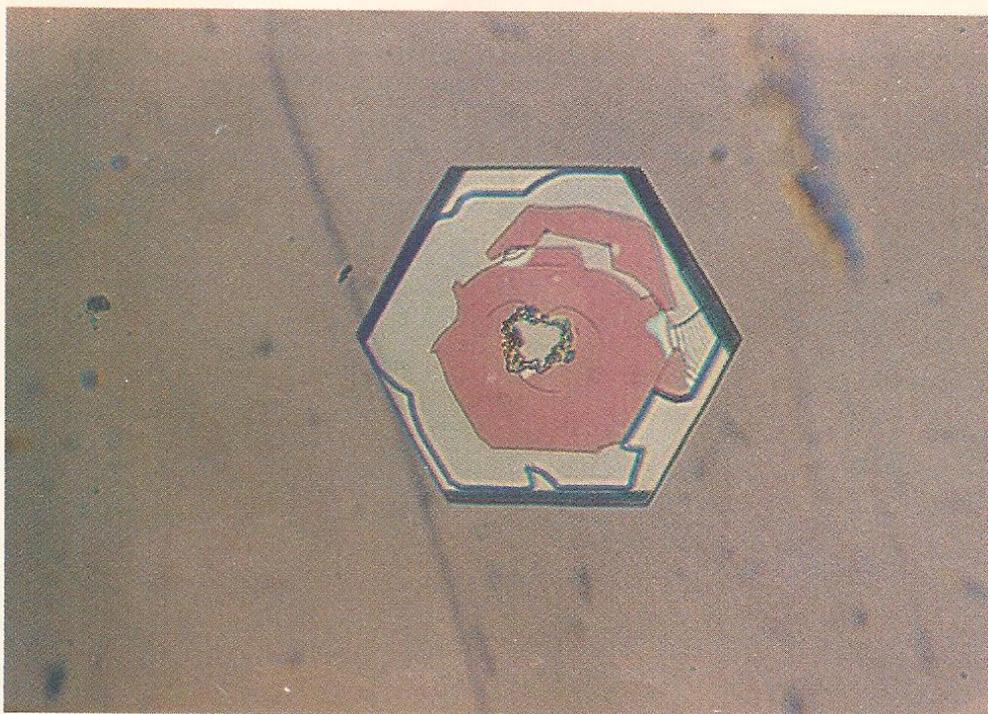


ACIMA: corte esquemático de um transistor, realizado segundo a tecnologia C-MOS.



ACIMA: corte esquemático de um transistor integrado, realizado segundo a tecnologia N-MOS.

ABAIXO: configuração de teste para análise da qualidade dos processos de fabricação dos CIs.



Sobre a lâmina-base, é feita a difusão seletiva das camadas tipo P ou N necessárias para formar as diversas regiões dos CIs. Leva-se a lâmina a um forno a 1200°C e oxida-se sua superfície polida. Com isso, forma-se uma camada de aproximadamente 1 μm de espessura (1 μm = 0,001 mm) de óxido de silício (SiO_2). Como o SiO_2 serve de anteparo à difusão de impurezas, abrindo-se janelas nesse óxido é possível escolher as regiões onde se quer difundi-las.

As janelas são abertas por um processo fotográfico. Cobre-se o óxido com uma emulsão fotossensível. Expõe-se os locais onde não se deseja a abertura de janelas, polimerizando-os. O material fotossensível é revelado, expondo-se o óxido das janelas. Remove-se o óxido das janelas com ácido fluorídrico. A emulsão é removida, ficando o substrato com janelas. Nesse ponto, a lâmina está pronta para a difusão. Esse procedimento é repetido tantas vezes quantas forem necessárias para a obtenção das diferentes regiões semicondutoras. Isso requer múltiplas máscaras fotográficas, que devem ser alinhadas entre si para determinar as junções e, assim, as partes do CI.

Considerando os dispositivos utilizados, os CIs monolíticos podem ser divididos em duas grandes tecnologias: **tecnologia bipolar** e **tecnologia MOS**.

No caso da **tecnologia bipolar**, os transistores, diodos e resistores são formados a partir de um substrato tipo P, se estivermos adotando uma tecnologia LTT convencional.

Na **tecnologia MOS**, difundimos a fonte e o dreno dos transistores. O afasta-

mento entre o dreno e a fonte determina o tipo de tecnologia a ser usada. Assim, temos tecnologia de 6 μm , 3 μm e, modernamente, 1,5 μm e 1 μm .

Entre a fonte e o dreno há uma região de óxido fino, sobre a qual é construída a porta do transistor, que controla, por efeito capacitivo, o fluxo de corrente. A espessura dessa região pode atingir 0,02 μm (40 camadas de moléculas).

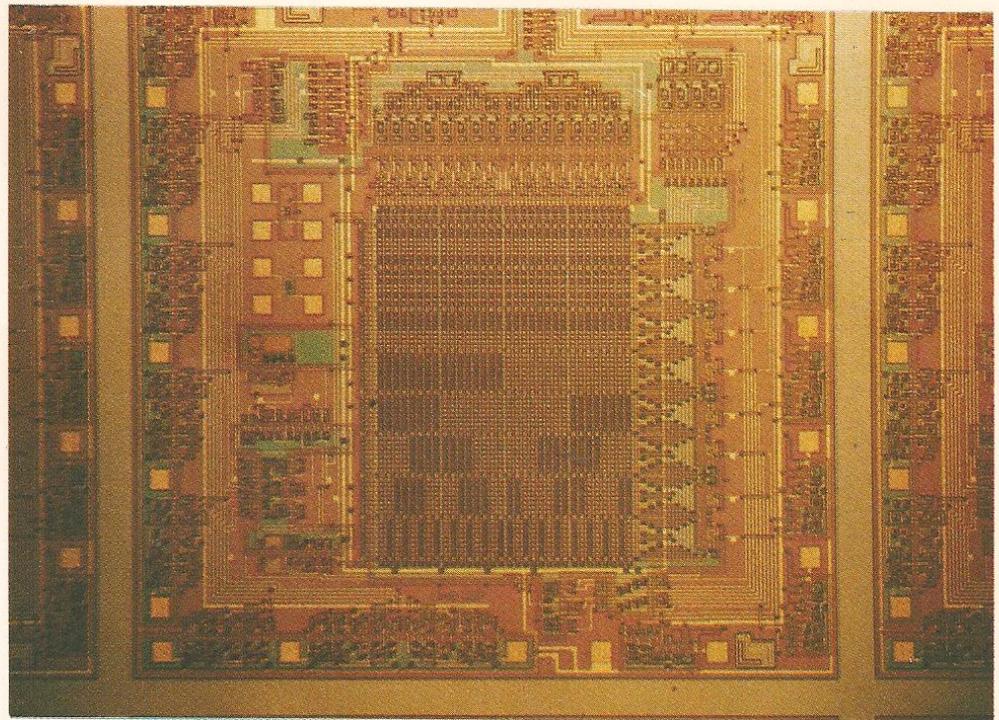
Os dispositivos MOS têm a vantagem de ser auto-isolantes, não necessitando de junção reversamente polarizada. Dependendo do tipo P ou N de substâncias utilizadas, temos TEC-MOS canal N ou N-MOS, TEC-MOS canal P ou P-MOS e ambos simultaneamente, formando uma tecnologia denominada MOS complementar ou C-MOS.

Está sendo estudada, também, a possibilidade de interligação de todos os CIs produzidos numa lâmina, obtendo-se então a **Integração em Nível de Lâmina (INLA) (Wafer Scale Integration, WSI)**, em inglês).

Outra categoria de CIs em estudo é a dos CIs de **Velocidade Muito Alta (CI-VEMA) (Very High Speed Integrated Circuit, VHSIC)**, em inglês), construídos geralmente em arsenieto de gálio. Por fim, também estão sendo desenvolvidos circuitos integrados tridimensionais, que poderão multiplicar por dez a complexidade dos CIs. Em 1995, estima-se que o número de dispositivos num CI poderá atingir 16000000 de dispositivos. Deve-se assinalar que poucos computadores atingem esse nível de complexidade.

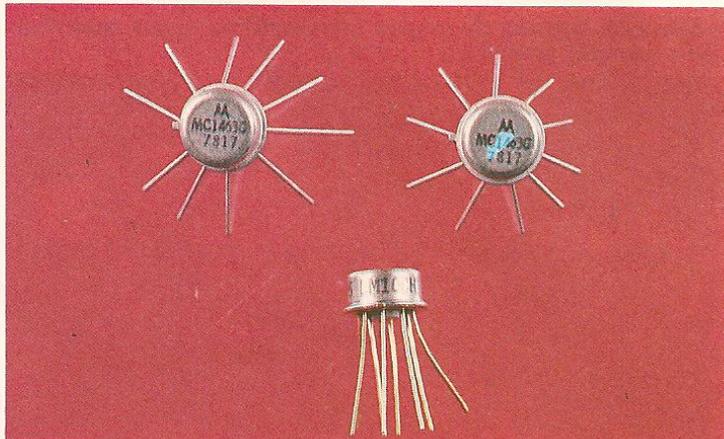
Os CIs também podem ser classificados de acordo com o número de seus componentes. Desse modo, temos:

Número de dispositivos	Tipo
Até 100	Integração em Pequena Escala (IPE) (Small Scale Integration, SSI) , em inglês)
De 100 a 1000	Integração em Média Escala (IME) (Medium Scale Integration, MSI) , em inglês)
De 1000 a 10000	Integração em Larga Escala (ILE) (Large Scale Integration, LSI) , em inglês)
De 10000 a 100000	Integração em Escala Muito Ampla (IEMA) (Very Large Scale Integration, VLSI) , em inglês)
Mais de 100000	Integração em Escala Ultra-Ampla (IEULA) (Ultra Large Scale Integration, ULSI) , em inglês)

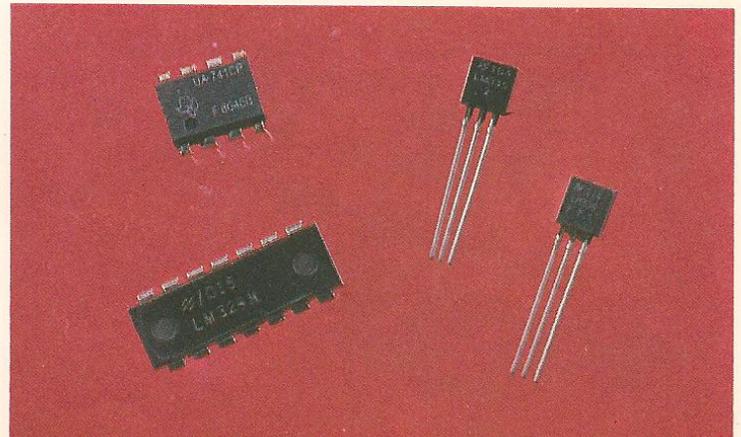


ACIMA: pastilha de uma Memória Apenas de Leitura, MAL (Ready Only Memory, ROM em inglês), de 2k bits de capacidade.

ABAIXO: aspecto externo de um CI. Observe a cápsula e os terminais de ligação.



ABAIXO: os invólucros dos circuitos têm formatos diversos. A fotografia mostra alguns deles.

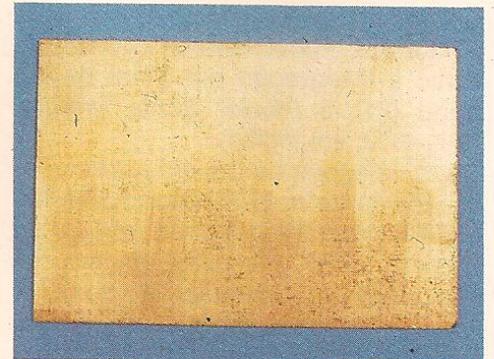


A CONSTRUÇÃO DE UM CIRCUITO IMPRESSO

Em todas as montagens apresentadas até aqui, havia um componente básico: a placa de circuito impresso. Finalmente, nesse capítulo, você vai aprender a construir a sua própria placa. Confira e veja que não é difícil.



1. Componentes do kit para confecção dos circuitos impressos.



2. Placa virgem de fenolite com uma face cobreada.

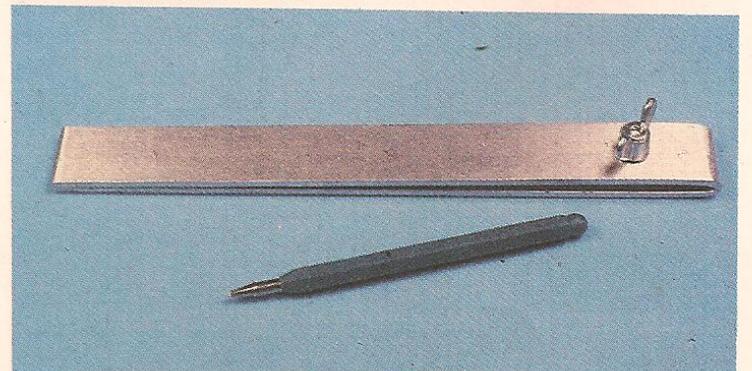


3. Caneta não-recarregável para desenhar os traçados dos circuitos.

4. Furador manual de placas de circuito impresso.



5. Cortador manual de placas composto de régua para fixação e punção para corte.



As montagens eletrônicas, em sua maioria, são feitas em bases de fenolite ou fibra de vidro denominadas placas de circuito impresso. Para cada aparelho existe uma placa específica, cujo desenho depende da disposição dos componentes usados. A realização prática dessas placas é um problema que muitos montadores encontram, mas, conforme veremos nesse capítulo, pode ser facilmente superado.

A placa ao mesmo tempo que serve de base para a sustentação dos componentes de um aparelho, tem por função estabelecer as conexões elétricas entre esses componentes, através de regiões condutoras de cobre.

O tipo mais comum de placa é o de única face cobreada, mostrado na foto 2.

Essa placa tem de um lado uma fina superfície cobreada que, depois de corroída, forma as regiões condutoras, de acordo com as conexões elétricas efetuadas no projeto.

Os componentes são então encaixados no lado não cobreado e soldados em pequenas "ilhas" já formadas na região cobreada, onde se estabelece o contato elétrico.

Quando se tem um aparelho na forma de kit, ou conjunto para montar, normalmente a placa já vem pronta para receber os componentes, com as regiões configuradas, o que facilita muito o trabalho do montador.

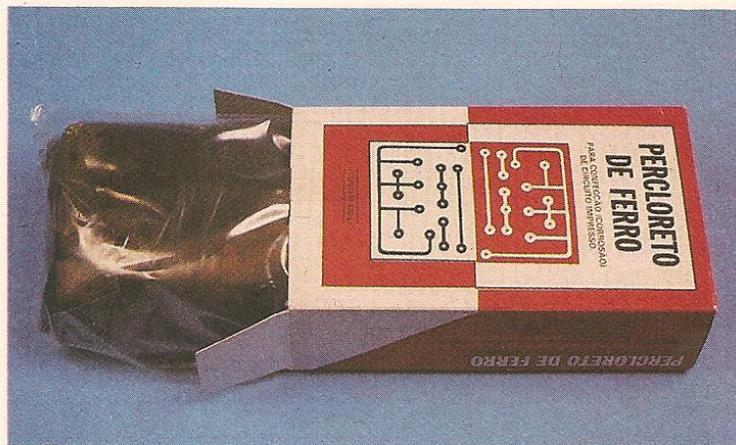
Entretanto, se tivermos um projeto em que apenas o traçado do circuito está disponível, precisaremos de recursos

especiais. Nesse caso, devemos transferir o traçado do circuito para uma placa virgem e submetê-la a um processo especial que leve à configuração que possa receber os componentes e produzir os efeitos desejados.

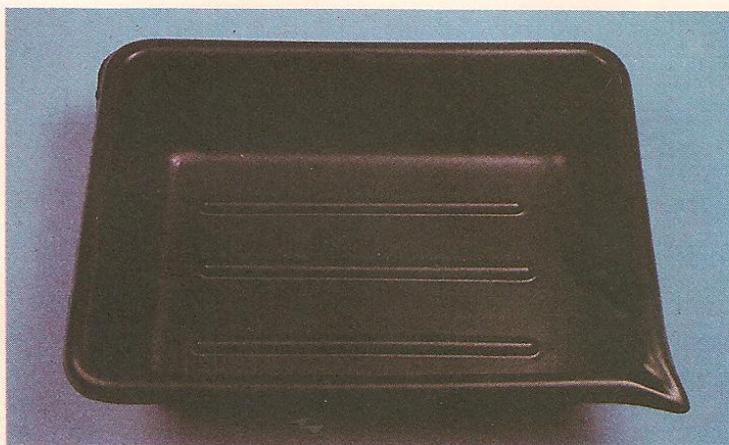
Nesse capítulo, você aprenderá a construir uma placa de circuito impresso de maneira simples e acessível, passo a passo.

Para facilitar seu aprendizado, forneceremos um projeto eletrônico bem simples como exemplo: um pequeno amplificador de áudio.

Nesse kit, você encontrará todo o material necessário para, a partir de uma placa virgem, chegar à placa final, tomando um desenho do traçado do circuito como modelo.

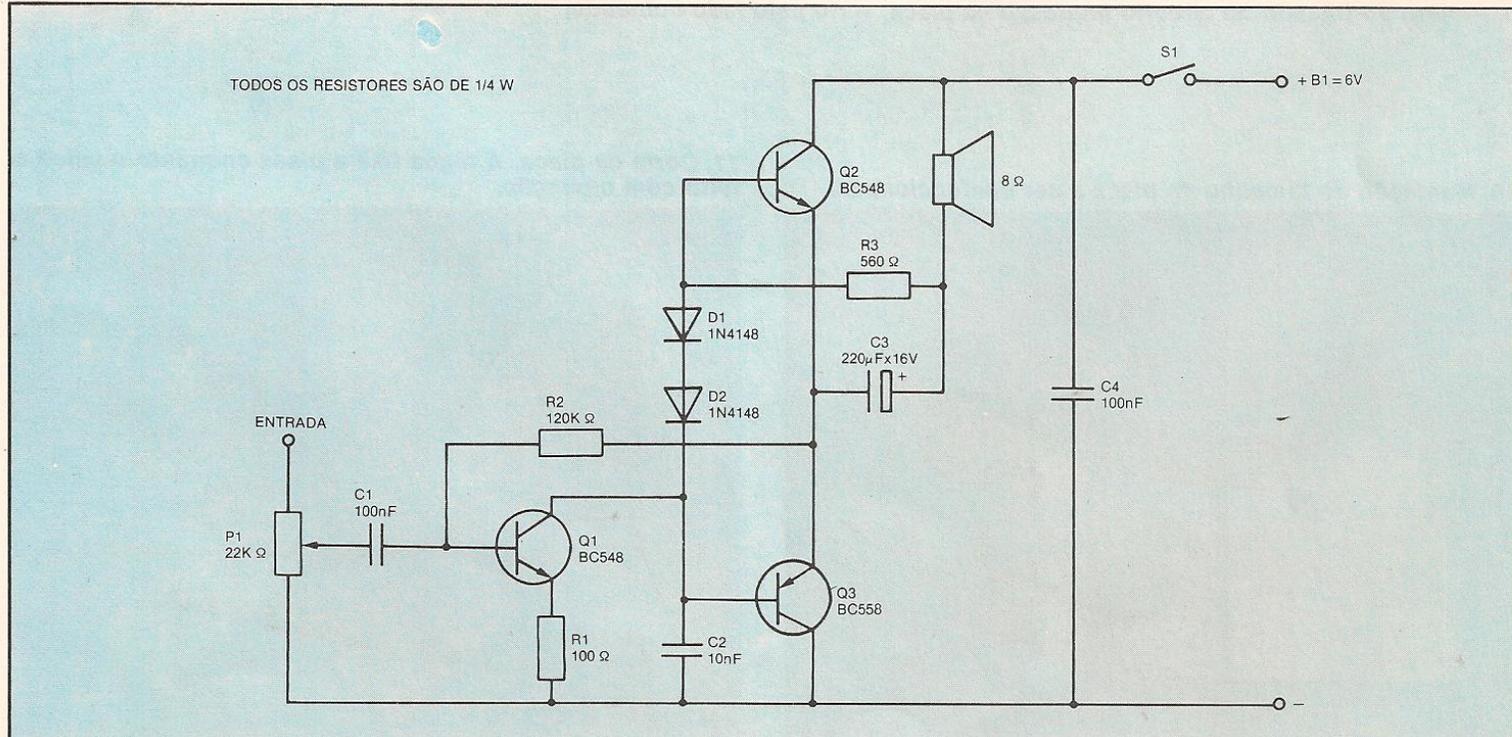


6. Pacote com percloroeto de ferro para corrosão de placas.



7. Vasilhame de plástico para a corrosão.

8. Esquema elétrico do amplificador de áudio a ser montado.



MONTAGEM

Componentes do kit

- 1 régua para fixação de placas
- 1 punção para corte de placas
- 1 placa virgem de fenolite com uma face cobreada
- 1 caneta não-recarregável para desenhar os traçados dos circuitos impressos
- 1 furador manual
- 1 pacote de 400 g de percloroeto de ferro em pó
- 1 vasilhame de plástico.

Materiais diversos

- 1 ferro de soldar com potência máxima de 30 W
- 1 martelo
- 1 palhinha de aço
- 1 lápis

- 1 régua ou esquadro
- 1 folha de papel milimetrado
- fita adesiva.

O projeto

O aparelho que pretendemos montar é aquele cujo esquema elétrico aparece na ilustração 8. É um amplificador de áudio alimentado por quatro pilhas pequenas e que serve tanto para fazer um fonógrafo doméstico, um intercomunicador, quanto para servir de etapa para um rádio experimental, um seguidor de sinais ou para a realização de provas em oficinas de conserto.

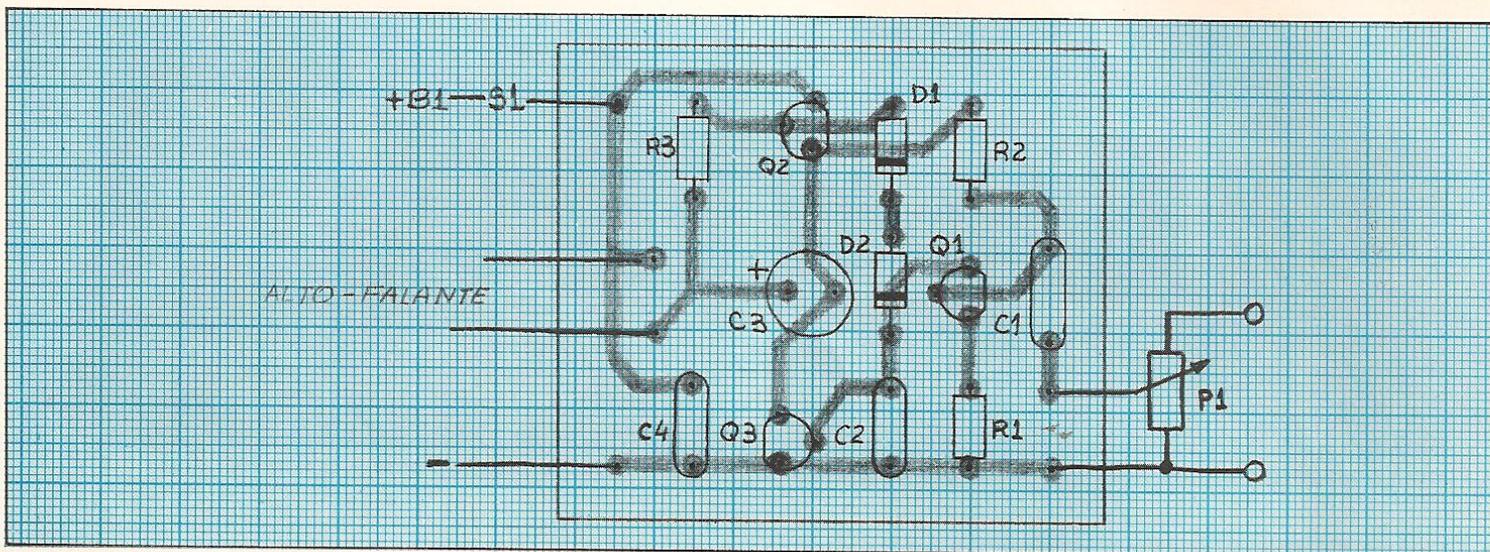
A placa de circuito impresso de 69 mm x 60 mm, já projetada para receber os componentes que formam o amplificador de áudio, é mostrada na ilustração

9. Nessa ilustração, vemos a placa desenhada pelo seu lado cobreado, ou seja, o lado em que o traçado do circuito aparece em escuro; posteriormente, o traçado do circuito será formado a partir da corrosão de uma placa virgem do mesmo tamanho.

Os componentes foram desenhados sobre a placa em tamanho e aspecto físico reais, exatamente para se ter noção da distância entre seus terminais e do espaçamento a ser deixado entre eles, para que seja possível realizar o traçado.

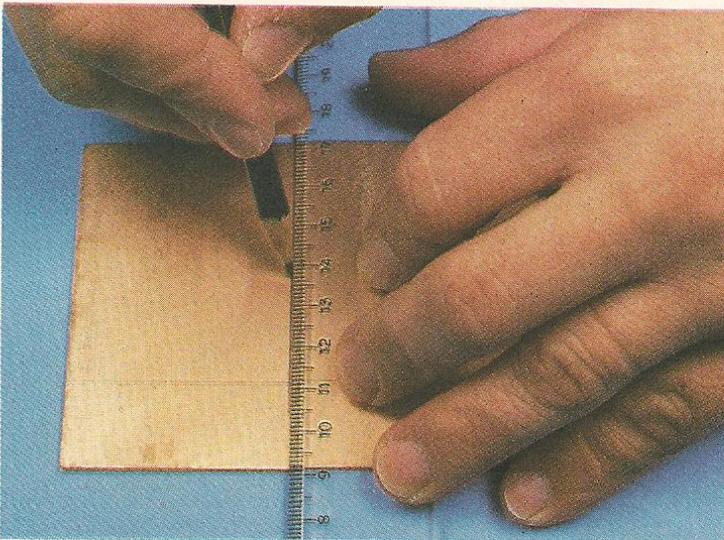
Antes, os componentes devem ser visualizados e depois efetivamente montados sobre o lado não cobreado da placa.

A partir da experiência adquirida nessa

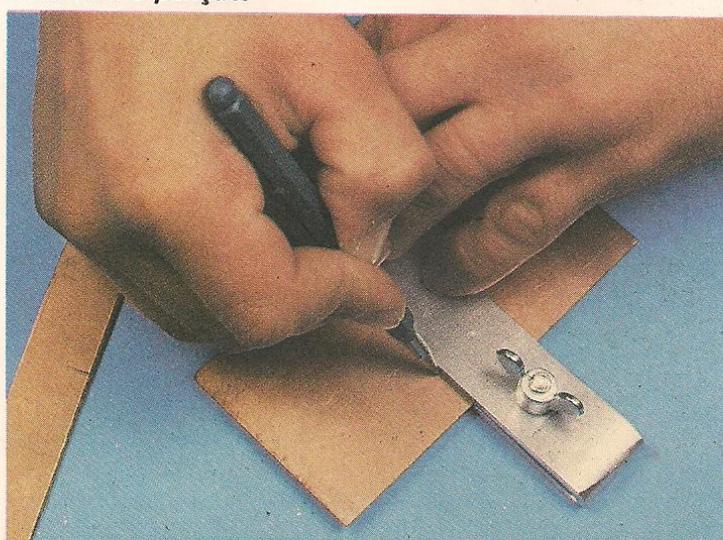


9. Projeto do traçado do circuito impresso na placa, visto pelo lado cobreado.

10. Marcação do tamanho da placa a ser confeccionada.



11. Corte da placa. A régua fixa a placa enquanto o sulco é feito com o punção.



montagem, qualquer placa poderá ser feita segundo o mesmo procedimento.

Componentes

Os componentes usados nesse amplificador são os seguintes:

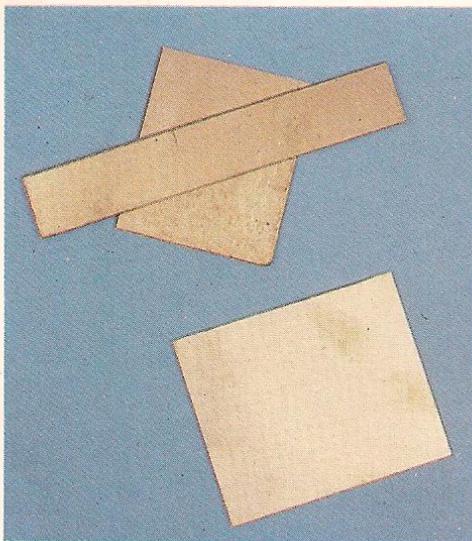
- 3 resistores de 1/4 W:
 - R1 - 100 Ω (marrom-preto-marrom)
 - R2 - 120 KΩ (marrom-vermelho-amarelo)
 - R3 - 560 Ω (verde-azul-marrom)
- 3 capacitores de poliéster:
 - C1 - 100 nF ou 100 KpF (marrom-preto-amarelo)
 - C2 - 10 nF ou 10 KpF (marrom-preto-laranja)
 - C4 - 100 nF ou 100 KpF (marrom-preto-amarelo)

- 1 capacitor eletrolítico:
 - C3 - 220 μF x 16 V - unilateral
- 2 diodos de sinal de silício:
 - D1 - 1N914 ou 1N4148
 - D2 - 1N914 ou 1N4148
- 3 transistores de uso geral:
 - Q1 - BC548(NPN) ou equivalentes
 - Q2 - BC548(NPN) ou equivalentes
 - Q3 - BC558(PNP) ou equivalentes
- 1 potenciômetro de 22 KΩ (P1)
- 1 interruptor (S1) em miniatura (1x2)
- 1 suporte para 4 pilhas pequenas
- 4 pilhas pequenas (+ B1)
- 1 alto-falante de 8 Ω
- fio cinza n.º 24
- fio vermelho n.º 24
- fio branco n.º 24
- solda 60/40.

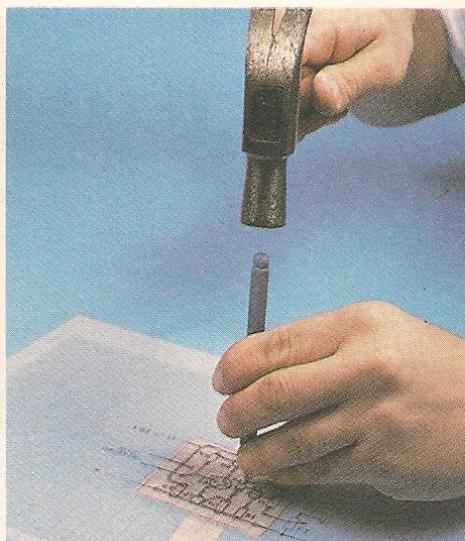
Confeção da placa

Os passos são os seguintes:

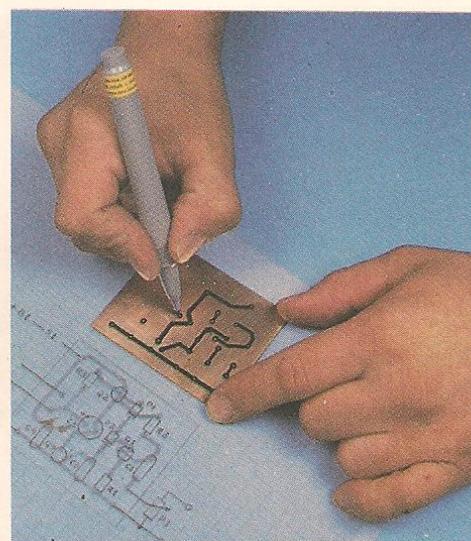
- 1.º Marque a placa virgem no sentido do corte que queremos executar, partindo das dimensões da placa (69 mm x 60 mm). Essa marcação poderá ser feita com a ajuda de um lápis comum e de uma régua. Para uma marcação mais precisa é preferível usar um esquadro (veja foto 10).
- 2.º Fixe a placa, usando a régua para fixação de placas e use o punção para fazer o corte nas dimensões marcadas. Passe o punção várias vezes com força para fazer um sulco na placa. Depois que o sulco estiver relativamente fundo, um pequeno esforço bastará para quebrar a placa na linha marcada (veja foto 11).



12. Placa depois de cortada.

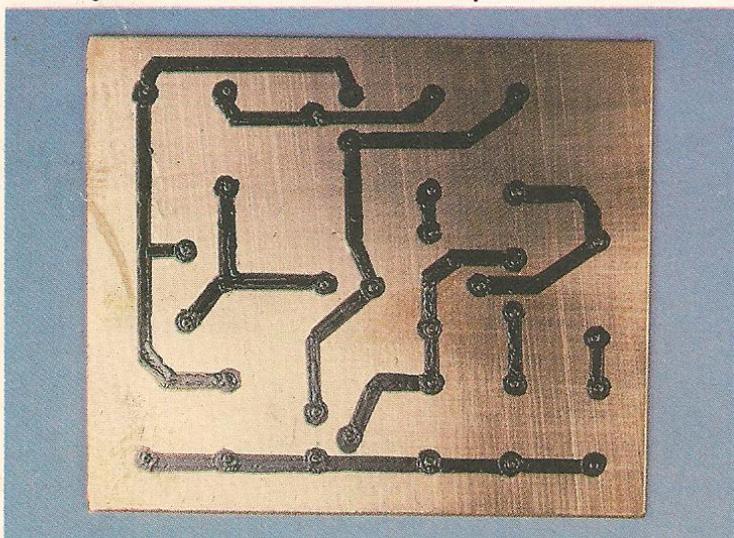


13. Marcação dos furos na placa, baseada no projeto do traçado.



14. Execução do traçado do circuito com base em seu projeto.

15. Traçado do circuito desenhado na placa de fenolite.



16. Imersão da placa na solução de percloro de ferro para a corrosão.



MONTAGEM

3.º) Depois de cortada, limpe a placa com palhinha de aço para remover o cobre oxidado (veja foto 12).

4.º) Agora, passe para a placa o traçado do circuito projetado na ilustração 9.

5.º) Copie, então, numa folha de papel transparente ou semitransparente, o traçado do circuito e o contorno da placa. Fixe o papel bem esticado com o desenho sobre o lado cobreado da placa cortada e limpa, utilizando fita adesiva (veja foto 13).

6.º) Marque todos os furos a serem feitos na placa, usando o punção e um martelo. Não bata o martelo com muita força, pois isso danificará a placa (veja foto 13).

7.º) Retire o desenho de cima da placa e, com a caneta para circuitos impres-

sos, desenhe o traçado do circuito sobre a placa, orientando-se pelo desenho do papel transparente usado para a marcação dos furos. Esses furos servem justamente como orientação para o desenho do traçado (veja foto 14).

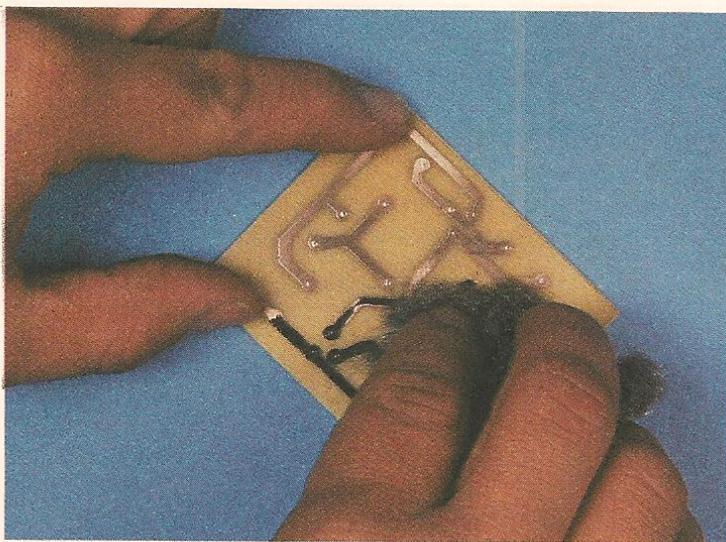
8.º) Depois que o traçado estiver pronto, confira-o com o máximo de cuidado, verificando se não existem falhas ou borrões que possam comprometer o trabalho (veja foto 15).

9.º) Prepare, agora, o percloroeto. Essa substância, dissolvida em água, atacará somente as regiões de cobre não cobertas pela tinta especial da caneta, removendo-as. Assim, nos locais em que existem as coberturas com tinta, ficará o padrão cobreado que corresponderá ao traçado do circuito na placa.

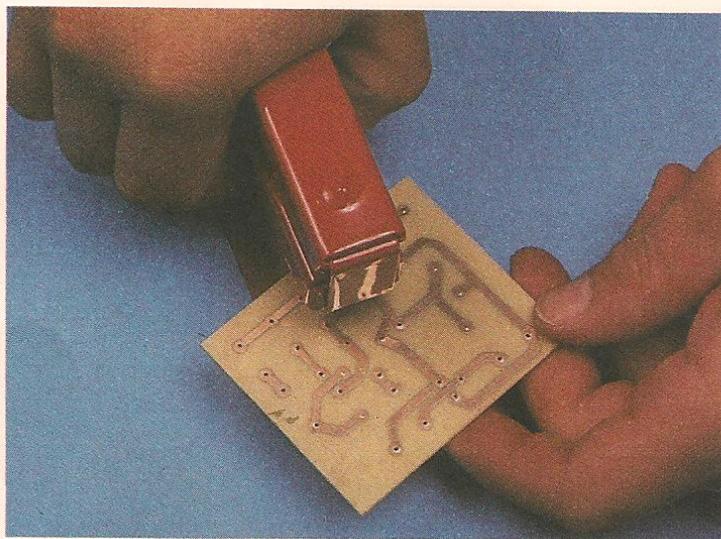
Comece por dissolver o percloroeto no vasilhame de plástico. Essa operação deve ser feita com o máximo de cuidado pois, em contato com a água, o percloroeto libera calor. Se a operação for feita com precipitação, o percloroeto pode espirrar e manchar sua roupa, causando inclusive irritações na pele (que deve ser lavada em água corrente, imediatamente). O calor pode até mesmo deformar o vasilhame.

Coloque no vasilhame 3 partes de água para uma parte de pó a ser dissolvido. Lentamente, vá despejando o percloroeto, mexendo sempre com um pedaço de madeira.

10.º) Mergulhe a placa no vasilhame com a solução de percloroeto de ferro (veja foto 16).

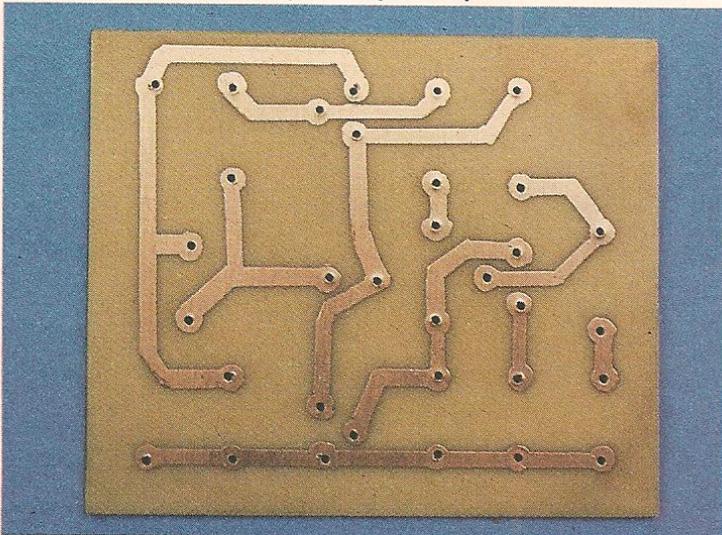


17. Remoção da tinta que cobre o traçado.

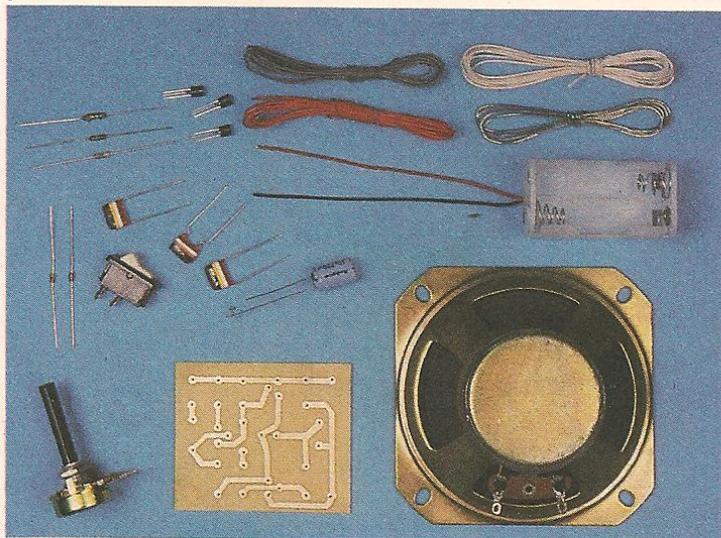


18. Placa de circuito impresso sendo furada.

19. Placa de circuito impresso pronta para ser montada.



20. Conjunto de peças necessárias para a montagem do amplificador de áudio.



11.º) A corrosão da placa demora de 15 a 20 minutos com solução nova. Com o tempo e o uso da solução de percloroeto, você precisará cada vez de mais tempo para uma corrosão perfeita. A placa estará pronta quando todas as partes cobreadas descobertas forem removidas pela solução, ficando à vista apenas o fenolite.

12.º) Completando a corrosão da placa, retire-a da solução de percloroeto e lave-a bem com água corrente.

13.º) Enxugue a placa e remova a tinta que cobre o traçado com a ajuda de uma palhinha de aço (veja foto 17).

14.º) Faça todos os furos na placa, usando, para isso, o furador manual. Veja que a pressão deve ser feita o mais possível na extremidade do cabo

de modo que, pelo efeito de alavanca, se reduz ao máximo o esforço feito na furação (veja foto 18).

15.º) Depois de furada, a placa está pronta para receber os componentes do amplificador, cujos terminais deverão ser passados do lado não cobreado para o lado cobreado, através dos furos existentes e, depois, soldados nas ilhas que compõem o traçado do circuito (veja foto 19).

Montagem do amplificador

Os passos são os seguintes:

1.º) Solde os resistores R1 a R3 na placa de circuito impresso (veja foto 21).

2.º) Solde os capacitores de poliéster C1, C2 e C4 na placa de circuito impresso (veja foto 21).

3.º) Solde os diodos de sinal de silício D1 e D2 na placa, verificando cuidadosamente suas posições (veja foto 21).

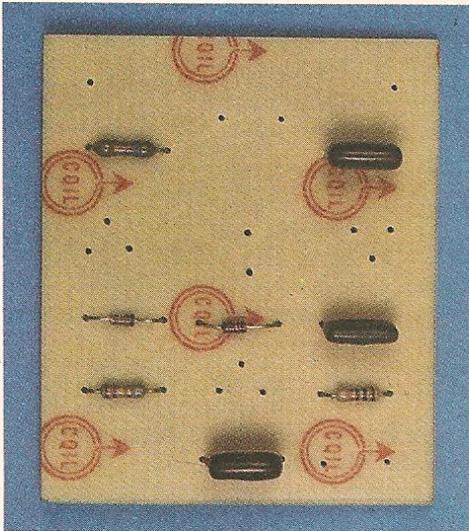
4.º) Solde o capacitor eletrolítico C3 na placa, tomando cuidado com sua polaridade em relação à placa (veja foto 22).

5.º) Solde os transistores Q1, Q2 e Q3 na placa, tomando cuidado com suas posições (veja foto 22).

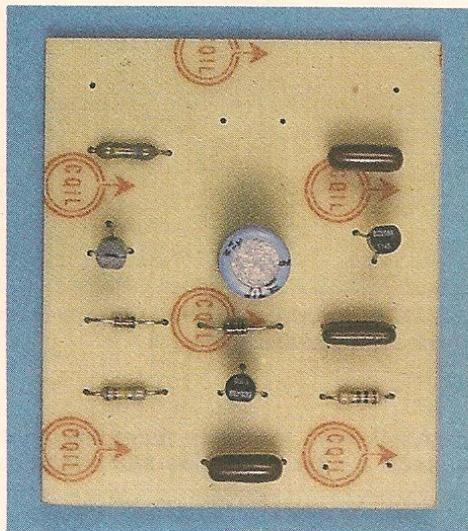
6.º) Solde o fio vermelho do suporte para pilhas no interruptor e, depois, solde o conjunto na placa (veja foto 23).

7.º) Ligue o potenciômetro na placa, por meio de 2 pedaços de fio n.º 24 (veja foto 23).

8.º) Ligue o alto-falante na placa com 2 pedaços de fio cinza n.º 24 (veja foto 23). Depois de tudo pronto, é só testar e usar o seu amplificador de áudio.

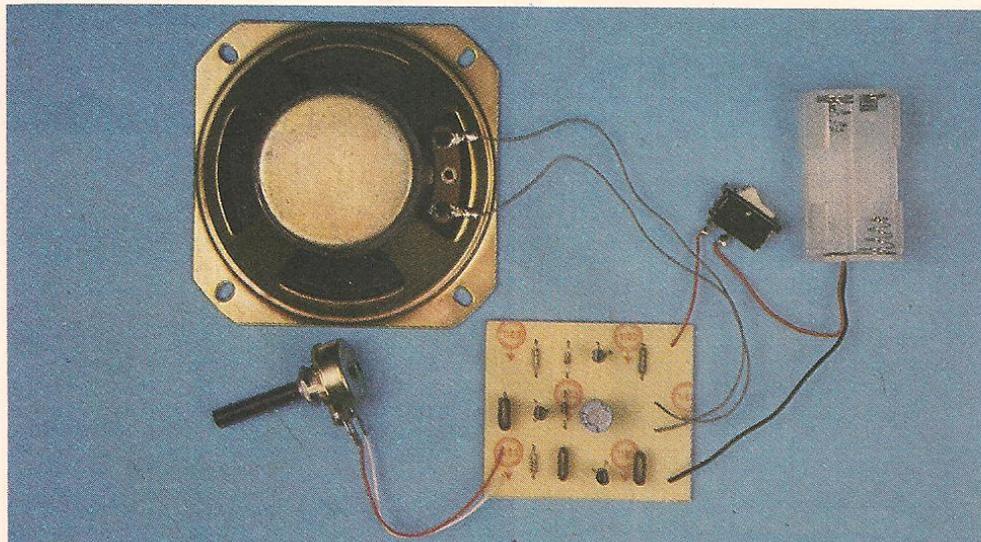


21. Montagem dos resistores, capacitores de poliéster e diodos na placa de circuito impresso.



22. Montagem do capacitor eletrolítico e dos transistores.

23. Ligação do potenciômetro, do suporte para pilhas, do interruptor e do alto-falante.



Podemos projetar a placa tomando como base o lado não cobreado onde ficam os componentes?

Sim, mas nesse caso temos de desenhar num papel milimetrado os componentes em tamanho natural — supondo que esse seja o lado não cobreado — e o traçado do circuito, interligando os componentes e imaginando que o traçado esteja do lado avesso do papel, ou seja, o lado cobreado.

Se o projeto for feito do lado dos componentes, como aplicá-lo na placa virgem?

Nesse caso, para aplicarmos o traçado do circuito na placa, devemos fixar o papel transparente pelo lado avesso, sobre a face cobreada da placa, e, em seguida, marcar os furos. Finalmente, baseando-se no avesso do desenho, devemos desenhar o traçado do circuito na placa.

A placa de circuito impresso, depois de pronta, poderá oxidar-se?

Sim. Com a oxidação, as regiões condutoras de cobre tornam-se escuras e a soldagem dos componentes fica difícil. Para evitar essa oxidação, é conveniente pincelar breu dissolvido em álcool na parte cobreada da placa. O breu funciona como um verniz, protegendo a placa e não prejudicando a soldagem.

A placa poderá ser furada antes de ser corroída?

Sim, mas isso não é aconselhável, porque o percloroeto de ferro irá corroer a parte de dentro dos furos e, na hora de soldar, haverá maior probabilidade de ocorrerem as chamadas soldas frias.

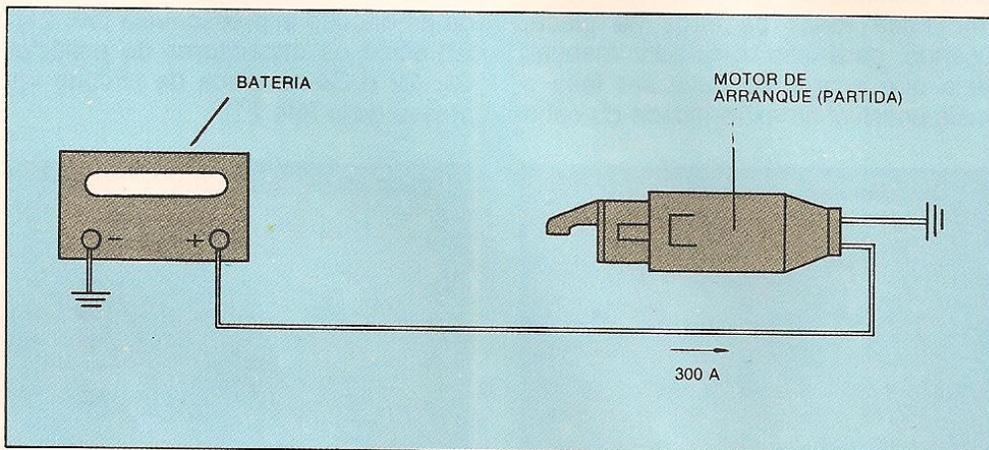
A CARGA DE BATERIAS

Nem todos sabem como devem agir quando a bateria do carro fica descarregada. Neste capítulo nós damos as informações necessárias para você prevenir ou enfrentar esta situação.

A bateria é um dos dois geradores de corrente elétrica de que dispõe o automóvel, mas sua função primordial é fornecer a energia necessária para a partida do motor.

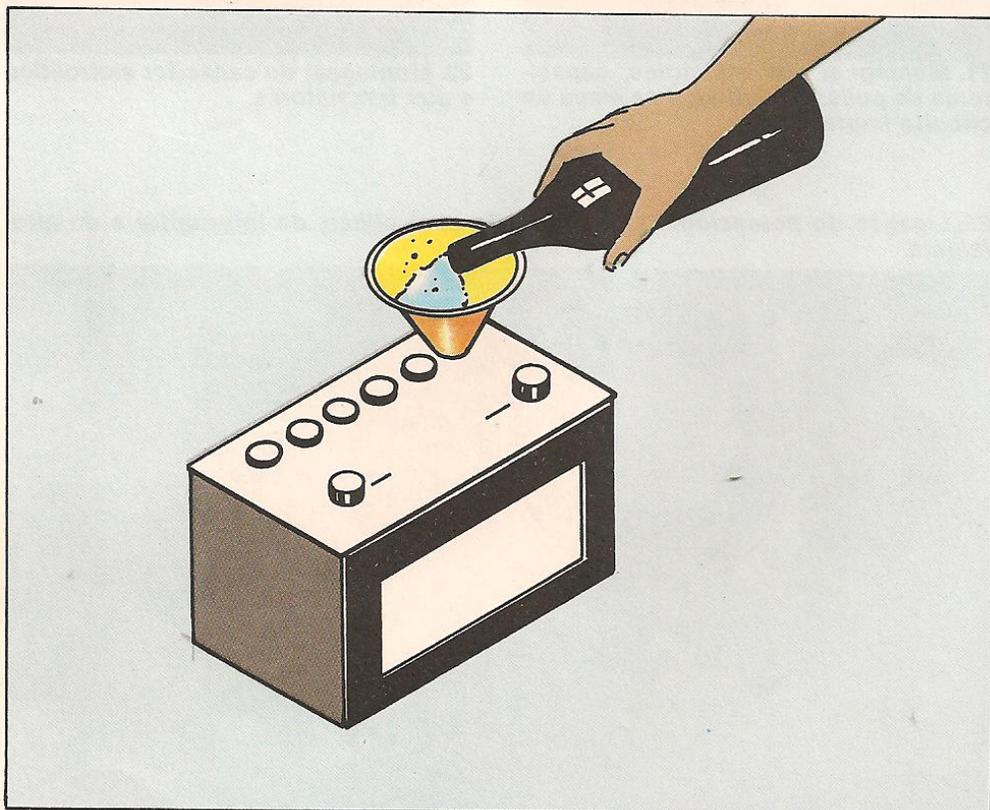
Por esta razão, todos os veículos têm um motor elétrico adicional, o motor de arranque, que, no momento da partida, coloca em funcionamento o motor principal até que este possa manter-se em movimento. Isso exige um notável fornecimento de potência, da ordem de 4 kW, que deve ser produzida pela bateria; sendo de 12 V a tensão de alimentação. A intensidade de corrente deve ser muito elevada, da ordem de 300 A. Toda a carga consumida pela partida é depois recuperada durante a marcha do veículo, por meio da corrente que a bateria recebe do alternador ou dínamo. Para se conseguir uma longa duração da bateria, deve ser levada em consideração uma série de recomendações muito úteis, principalmente quando se utiliza o veículo para percursos curtos, com um grande número de partidas. De fato, nessas condições, a bateria nem sempre consegue recuperar a carga perdida em cada partida; cria-se, então, um processo cumulativo de descarga que requer uma fonte externa que forneça a energia perdida. Em quase todos os manuais fornecidos pelos fabricantes de automóvel há uma relação nos de itens para a correta manutenção da bateria.

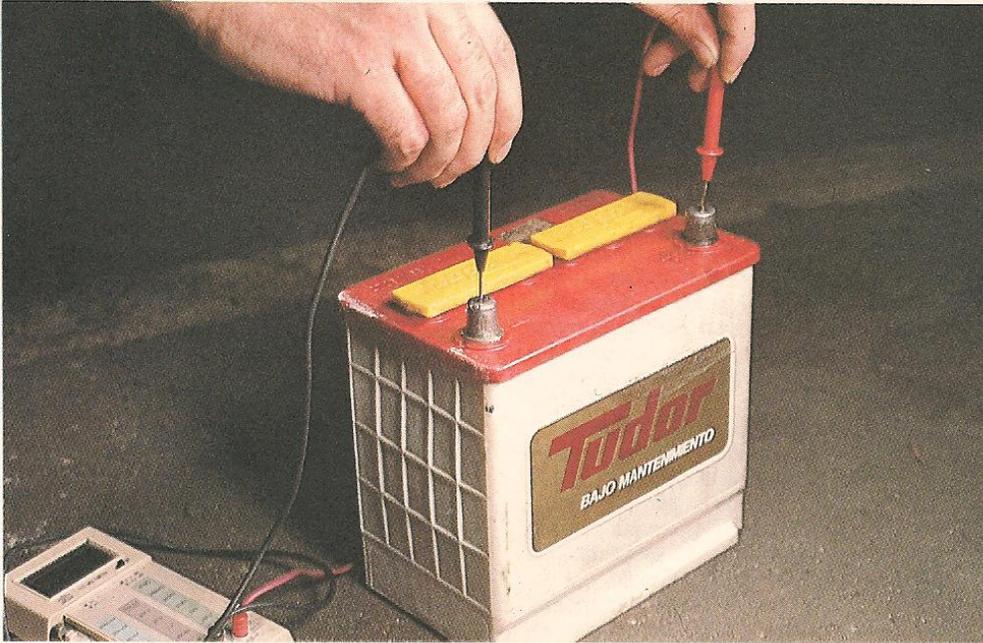
Basicamente, essa manutenção consiste na revisão periódica do nível do eletrólito, principalmente no verão, adicionando-se água destilada e desionizada, desde que o líquido não cubra um determinado nível de referência. A adição de líquido é feita com o auxílio de um funil de plástico para evitar que as impurezas que se encontram junto à superfície da bateria sejam arrastadas para o fundo.



ACIMA: durante o funcionamento do motor de arranque (partida), a bateria deve fornecer corrente de 300 A.

ABAIXO: uma forma de manutenção da bateria é a colocação de água destilada quando o eletrólito ainda não chegou ao nível de referência.





ACIMA: medida da tensão da bateria com um voltímetro, um teste para determinar o estado da carga.

Nos automóveis que são providos de voltímetro, o estado da bateria pode ser controlado continuamente, já que esse instrumento indica a tensão gerada pela bateria; se essa tensão for inferior a 12 V, há um sinal evidente de que ela tem necessidade de uma carga adequada.

Em todos os casos, mesmo quando o carro possui voltímetro, é útil dispor-se de um **densímetro**, que tem a função de analisar a densidade do eletrólito. A uma maior densidade correspondem melhores níveis de carga; esse fato é uma ótima referência para qualquer tipo de controle a ser feito.

O densímetro é um tubo de vidro com uma pêra de borracha em uma das ex-

tremidades, um tubo de borracha na outra e um flutuador graduado no seu interior.

O densímetro permite recolher uma certa quantidade de líquido, suficiente para fazer o flutuador conservar-se à superfície. A indicação da densidade desse líquido é fornecida pela graduação da escala. Essa graduação é constituída por uma série de traços horizontais com números indicativos. A densidade indicada coincide com o nível da amostra do eletrólito. Essa mesma operação é repetida para cada um dos seis elementos independentes que constituem a bateria.

Normalmente, uma densidade compreendida entre 1,25 e 1,28 correspon-

de a condições de carga satisfatórias, da ordem de 90 a 100% do total. Níveis abaixo de 1,20 indicam que há necessidade urgente de recarga por meios externos, para evitar danos graves na bateria.

Para se executar a carga de uma bateria para automóveis, existem dois procedimentos fundamentais, que dependem da forma de trabalho do carregador usado. Esses procedimentos são os sistemas de carga **de corrente constante** e de carga **de tensão constante**.

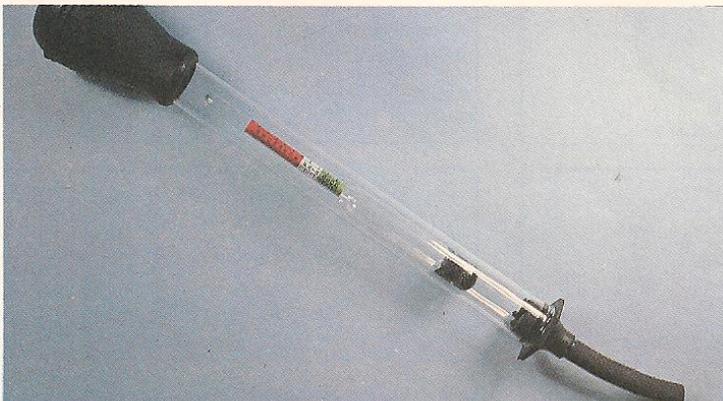
O sistema de carga **de corrente constante** consiste em aplicar à bateria uma intensidade de corrente de valor determinado, que permanece invariável durante todo o processo de carga. A tensão sobre as abraçadeiras da bateria é submetida a um incremento progressivo até atingir a zona de tensão de flutuação e continua crescendo até a situação de sobrecarga, se a bateria do gerador não for desligada.

No conjunto, o valor da corrente aplicável é igual ao máximo suportável pela bateria, sem sofrer danos durante a fase final da carga; por essa razão, o procedimento é um tanto lento, principalmente no início, uma vez que é preciso uma intensidade muito mais alta do que a fornecida pelo carregador.

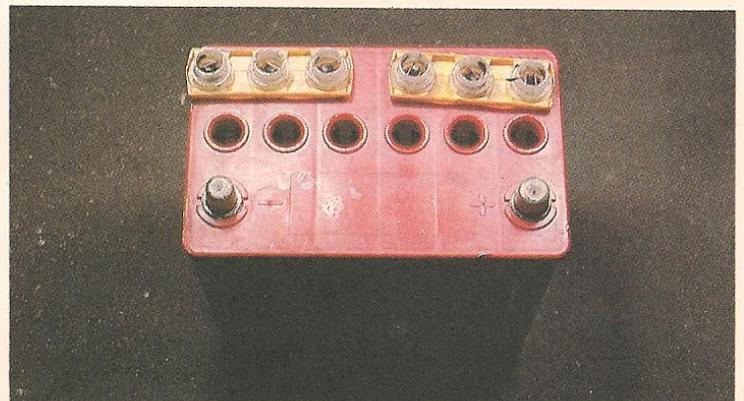
O sistema de carga **de tensão constante** é mais rápido que o anterior, pois se baseia na aplicação de uma diferença de potencial fixa nos eletrodos. Dessa maneira, a bateria absorve a corrente necessária momento a momento.

A desvantagem desse processo é a grande potência requerida pelo carregador, uma vez que, com a tensão correspondente ao fim de carga, ele deve fornecer uma corrente de intensidade

ABAIXO: este é um dos diversos tipos de densímetro existentes nas lojas.



ABAIXO: ao verificar o estado da carga com o densímetro, é necessário retirar as tampinhas das caixas da bateria.



várias vezes superior àquela utilizada no sistema de corrente constante. Além disso, essa corrente é necessária só durante um breve período inicial, depois do qual diminui consideravelmente o consumo e, portanto, o rendimento do carregador.

No início, a bateria pode superaquecer-se, devido ao excesso de corrente. Por essas razões, em alguns carregadores os dois processos estão conjugados com sistemas que acompanham continuamente a tensão que a bateria está adquirindo, e comutam o sistema inicial (de corrente de intensidade constante) pelo sistema de tensão constante, quando a bateria atinge a tensão de flutuação.

O processo normalmente empregado para carregar a bateria do automóvel é, entretanto, o sistema de tensão constante por meio de um carregador. Esse aparelho fornece uma corrente inicial elevada, da ordem de 5 a 10 A, que diminui, entretanto, no decorrer da operação.

Existem, ainda, outros sistemas para carregar a bateria sem necessidade de se recorrer a um carregador especial. Pode ser utilizada, por exemplo, uma fonte de alimentação estabilizada e com um dispositivo limitador de corrente. As condições de carga são fixadas regulando-se o limitador de corrente de modo que a intensidade fornecida seja de 1,8 a 3 A. A seguir, aplica-se a tensão necessária para obter a corrente acima, que terá o seu valor fixado pelo estado de carga da bateria.

Antes de efetuar a conexão dos condutores que ligam a fonte com a bateria, é preciso tirar essa última do seu suporte ou, então, desmontar os dois conectores terminais aparafusados nas suas abraçadeiras, retirando as tampinhas para liberar os gases emitidos durante o processo.

Convém ainda ligar primeiro a bateria ao carregador ou à fonte e, em seguida, esses dois elementos à rede; deve-se proceder de modo inverso depois de terminada a carga.

A ligação é facilitada se forem empregadas pinças especiais, conhecidas como "jacarés", que prendem os terminais da bateria.

O tempo de carga depende da corrente fornecida; assim, é necessário verificar periodicamente o estado da carga, medindo, com um multímetro ou por meio de um teste de boa qualidade, a tensão adquirida pela bateria.

NOÇÕES TEÓRICAS

A álgebra de Boole

A álgebra de Boole é a base matemática sobre a qual se apóia toda a teoria dos circuitos de comutação, conhecidos também como **circuitos lógicos** ou **digitais**, e cujo funcionamento não depende do tempo. Foi desenvolvida por volta de 1850 pelo matemático G. Boole, que aplicou, pela primeira vez, uma notação numérica e algébrica àquilo que, até aquele momento, só era tratado de um modo discursivo: a lógica.

Essa álgebra é caracterizada por uma estrutura muito simples, que consiste em atribuir o número 1 a uma proposição verdadeira e o 0 a uma falsa. Aplicando-se esse sistema a um circuito, pode-se associar a notação 1 à passagem da corrente, e a notação 0 à corrente nula. Pode-se, também, fazer corresponder a 1 a presença de um valor de tensão elevado (valor digital 1), e a 0 a presença de um valor de tensão mais baixo (valor digital 0).

Quando ocorre uma associação desse tipo, com a tensão associada ao valor digital 1 maior do que a tensão associada ao valor digital 0, dizemos que a lógica é positiva. Em caso contrário, temos lógica negativa. É muito comum associar-se ao valor digital 0 o valor de 0 volt. Qualquer sistema digital, portanto, é definido por uma série de variáveis e funções booleanas binárias que correspondem às suas saídas e às suas entradas. Essas variáveis são indicadas pelas letras do alfabeto (A, B, C, ...) e admitem somente os dois valores binários 0 e 1.

As variáveis que correspondem às saídas do sistema são uma consequência ou função das entradas.

Todas as funções realizadas com as variáveis booleanas podem ser decompostas nas seguintes:

- **Identidade:** a variável de saída é idêntica à de entrada: $F(A) = A$.
- **Inversão ou complementação:** a variável de saída é o inverso da de entrada $F(\bar{A}) = A$; isso significa que quando a entrada é $A = 1$, a saída é $F(\bar{A}) = 0$ e vice-versa. A função complementação é indicada por uma barra sobre a variável.

O bloco lógico que implementa a função de complementação é chamado **bloco de negação** ou bloco **Não**.

- **Interseção ou produto:** nesse caso, é preciso mais de uma variável de entrada, de modo que a de saída seja o seu produto lógico: $F(A, B) = A \cdot B$. No caso de n variáveis, sendo Y a saída, podemos escrever que: $Y = A \cdot B \cdot C \dots N$.

O bloco lógico que implementa a função de interseção é chamado **bloco E**.

- **União ou soma:** também essa função é aplicável a diversas variáveis de entrada, obtendo-se a de saída pela sua soma lógica: $F(A, B) = A + B$. No caso de n variáveis, sendo Y a saída, podemos escrever que: $Y = A + B + C \dots + N$.

O bloco lógico que implementa a função de união é chamado bloco **OU inclusivo**.

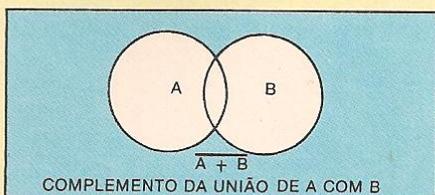
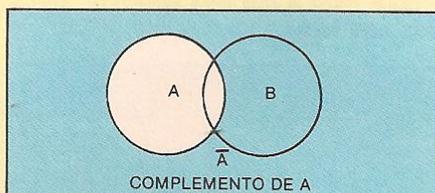
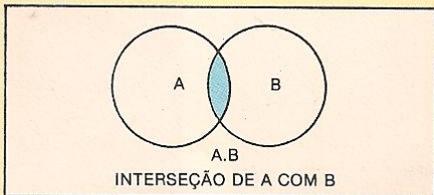
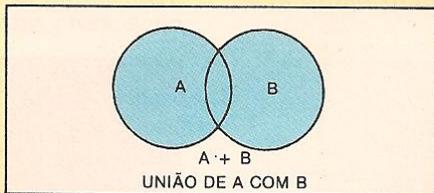
A álgebra de Boole satisfaz os seguintes postulados e propriedades:

- **Combinações de variáveis com os valores booleanos binários 0 e 1:**
 $A + 1 = 1, A + 0 = A, A \cdot 1 = A, A \cdot 0 = 0$
 $A + \bar{A} = 1, A + A = A, A \cdot \bar{A} = 0, A \cdot A = A$
- **Comutativa:** $A + B = B + A, A \cdot B = B \cdot A$
- **Associativa:** $(A + B) + C = A + (B + C), (A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$
- **Distributiva:** $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
- **Distributiva e absorção:** $(A + B) \cdot (A + C) = A + (B \cdot C)$

Há teoremas para simplificar as operações lógicas, como os de De Morgan e as propriedades da involução e absorção:

- **Involução**
 $\bar{\bar{A}} = A$
- **Absorção:**
 $A + A \cdot B = A$
 $A \cdot (A + B) = A$
- **Teoremas de De Morgan:**
 $\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$
 $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

Os diagramas de Venn permitem que se visualize melhor estas operações lógicas, como mostram as figuras:



O OSCILOSCÓPIO (4)

Concluimos aqui nossos estudos sobre o osciloscópio, instrumento de medida indispensável a todos que se dedicam à eletrônica. Vamos descrever os sofisticados osciloscópios com memória.

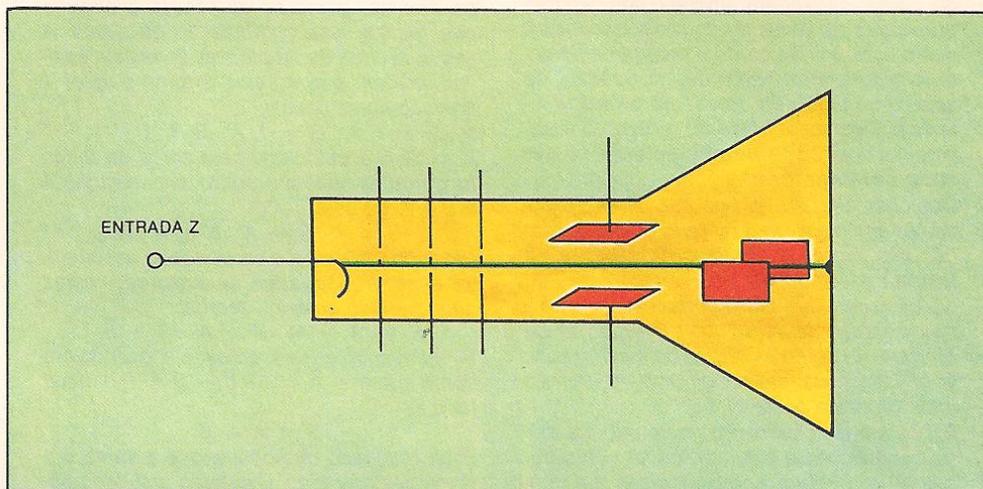
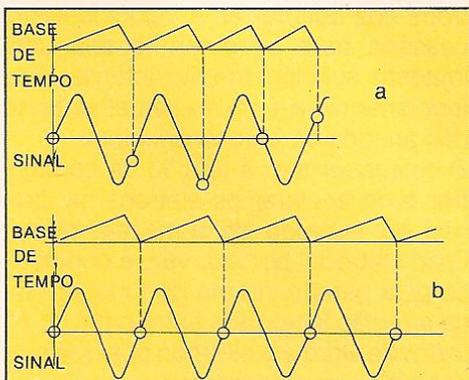
Os osciloscópios com memória oferecem maiores possibilidades que os convencionais, no que diz respeito à análise e à medida das características de um determinado sinal. Graças a eles, é possível observar sinais que variam lentamente no tempo. Esses sinais requerem varreduras lentas, inferiores a 2 ms/div.

No osciloscópio convencional, varreduras muito lentas produziram oscilações ou cintilações de imagem tão fortes que não permitiriam a visualização e a medida da forma de onda.

Outra aplicação importante é a visualização de sinais rápidos, porém de baixa frequência de recorrência (por exemplo, uma transição de duração 1 μ s, que se repete a cada 2 segundos). Esses sinais requerem a aplicação de altas velocidades de varredura, pois de outro modo não seria possível a visualização das transições rápidas. Porém, a baixa frequência de recorrência reduz sensivelmente a luminosidade na tela, tornando quase impossível a observação da forma de onda.

Esses problemas são contornados com a utilização do osciloscópio com

ABAIXO: sincronização da base de tempo: a) o dente de serra não está sincronizado enquanto não coincide com os pontos correspondentes da forma da onda; b) dente de serra sincronizado.

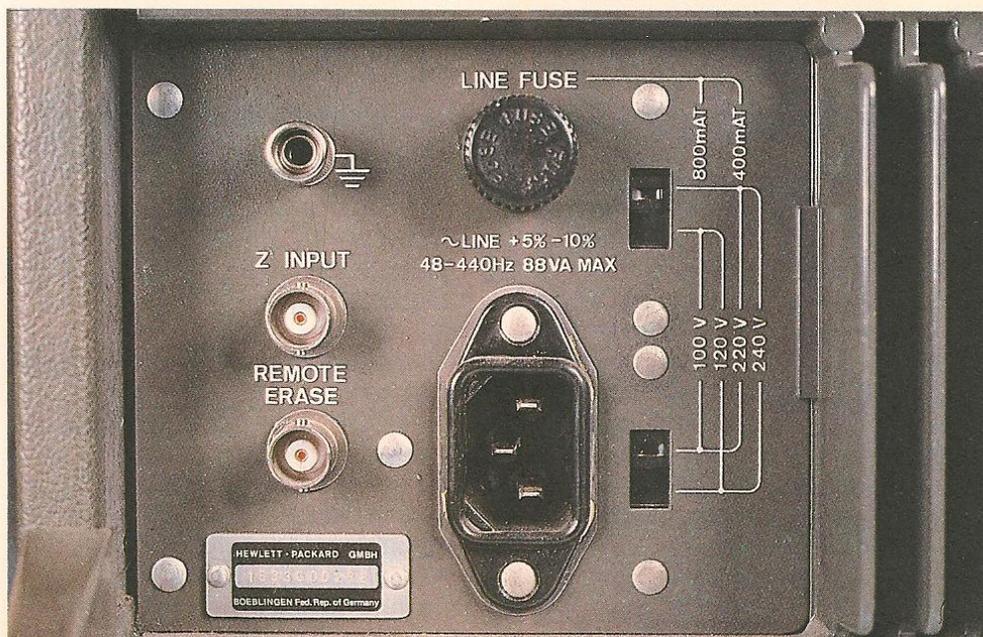


ACIMA: ligação da entrada Z ao tubo de um osciloscópio. Ela permite controlar a intensidade do feixe de elétrons.

memória, que permite também uma visualização das formas de onda de sinais não-repetitivos e que aparecem apenas ocasionalmente. A observação e medida desses sinais são procedi-

mentos absolutamente necessários para determinada aplicação (nesse caso, a frequência de recorrência tende a zero, pois o sinal ocorre apenas uma vez).

ABAIXO: parte traseira do osciloscópio com a tomada para a entrada Z.



Noções Teóricas

Os Circuitos combinacionais

Um circuito-lógico ou de comutação é constituído por um sistema eletrônico montado para manipular sinais digitais do tipo 0 ou 1, normalmente definidos por valores de tensão baixos ou altos.

Esses circuitos podem ter uma série mais ou menos numerosa de entradas e uma saída, onde é obtido o resultado das operações efetuadas pelo circuito. Se as funções de saída dependem apenas dos valores atuais das variáveis de entrada, isso indica que o circuito não contém nenhum elemento interno armazenador de informação, ou seja, o circuito não apresenta **estados** internos. Nessas condições, o circuito é denominado **circuito combinacional** ou **circuito combinatório**.

Qualquer circuito do tipo combinatório pode ser analisado ou projetado com a aplicação das regras e fórmulas da **álgebra de Boole** convencional.

No caso de expressões complexas, existe a possibilidade de aplicar os teoremas de De Morgan, ou então as regras de minimização já consagradas, até atingir uma estrutura a mais reduzida possível.

Existe um procedimento muito útil que ajuda enormemente a compreender como trabalha um circuito combinacional: ele consiste em compor uma tabela na qual estão representadas todas as combinações possíveis das diversas entradas, com os seus dois valores digitais 0 e 1, e o sinal de saída resultante. É a **tabela das combinações** do circuito, erradamente conhecida por alguns como **tabela da verdade (truth table, em inglês)**.

Como exemplo ilustrativo, consideraremos o circuito de duas entradas (A e B) e uma saída (S) representado pela seguinte tabela das combinações:

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Trata-se, aqui, de determinar qual a forma da função representada ou, o que vem dar no mesmo, como se apresenta o circuito que realiza essa combinação de sinais. A segunda linha da tabela e as linhas sucessivas indicam que a saída S toma o valor 1 nos seguintes casos:

$$\bar{A} \cdot B = 1, A \cdot \bar{B} = 1, A \cdot B = 1$$

A saída S é calculada pela soma de todas as parcelas onde o produto das entradas A e B é 1, ou seja:

$$S = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B} + A \cdot B$$

Levando em conta a propriedade associativa e as propriedades de absorção vistas num capítulo anterior, temos:

$$S = (\bar{A} + A) \cdot B + A \cdot (\bar{B} + B)$$

Simplificando essa expressão e levando em conta que $A + \bar{A} = 1$ e $\bar{B} + B = 1$, o resultado é:

$$S = A + B$$

Esse resultado demonstra que a saída é a soma das entradas. O mesmo resultado pode ser obtido utilizando-se a primeira linha da tabela, onde poderíamos escrever:

$$S = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

Complementando os dois membros da expressão, temos:

$$S = \overline{\bar{A} \cdot \bar{B}}$$

Aplicando o teorema de De Morgan, obtemos o seguinte:

$$S = \bar{\bar{A}} + \bar{\bar{B}}$$

Tendo em vista as propriedades da involução, obtemos finalmente:

$$S = A + B$$

O princípio de funcionamento do osciloscópio com memória está baseado quase exclusivamente no emprego de um tubo de raios catódicos especial, denominado **persistência variável** ou tubo com armazenamento.

O sistema de armazenamento ou de persistência realiza-se no interior do tubo de raios catódicos, que é provido de um dispositivo onde permanece impressa a imagem que se quer observar. Também fazem parte do tubo dois catodos geradores de feixes de elétrons adicionais, correspondentes aos dois canais de entrada.

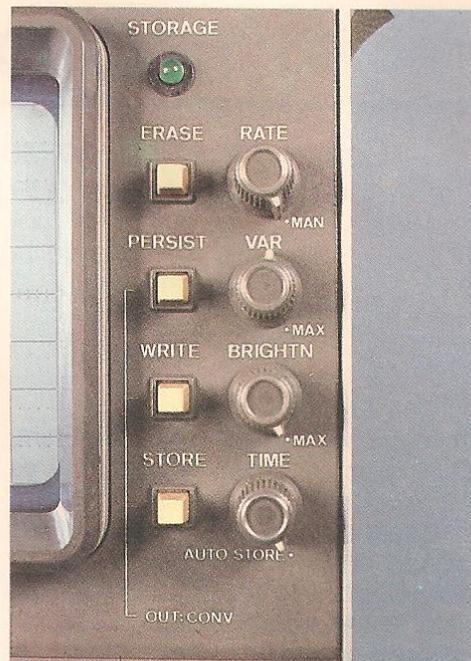
A função desses feixes adicionais é projetar na tela as imagens armazenadas pelo eletrodo.

Para a obtenção do efeito completo é necessário ainda que o tubo disponha dos seguintes elementos adicionais:

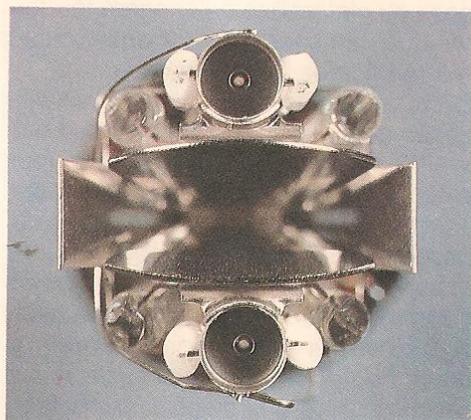
- dois catodos geradores de raios eletrônicos;
- grade de controle;
- anodo acelerador;
- colimador;
- eletrodo pós-acelerador e de armazenamento.

Os catodos são muito semelhantes àqueles que produzem o feixe principal, e que já foram estudados em capítulos anteriores.

A grade de controle, comum aos dois feixes catódicos, tem a função de verificar a intensidade eletrônica, com o objetivo de regular a luminosidade da ima-



ACIMA: comandos para o controle das diversas formas de funcionamento de um osciloscópio com memória.

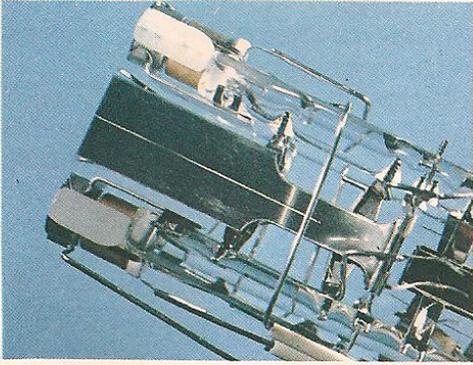


ACIMA: conjunto formado por quatro placas de deflexão e pelos catodos destinados a projetar na tela as imagens armazenadas.

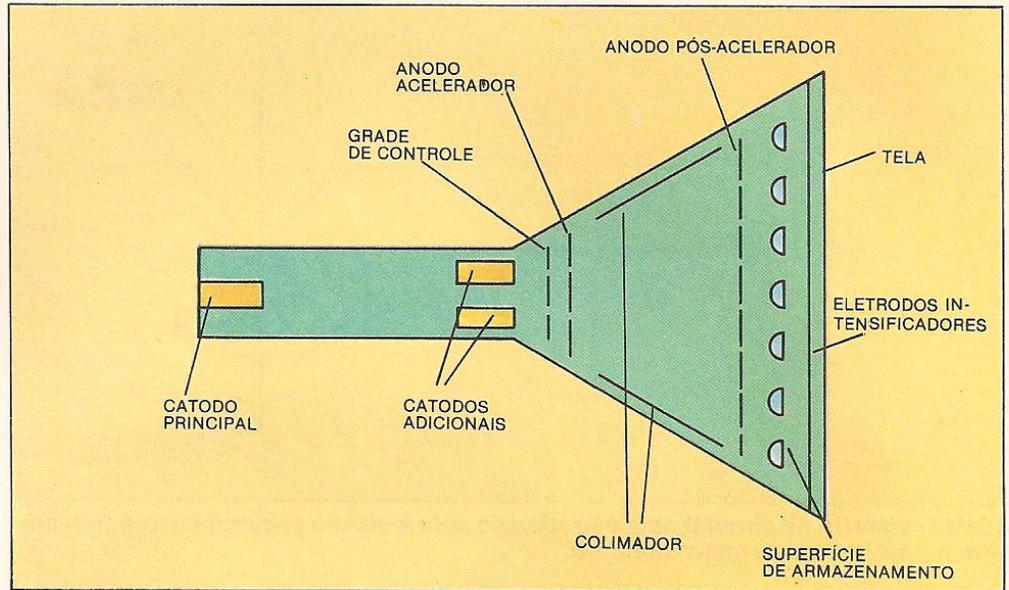
gem sobre a superfície do eletrodo de armazenamento. Isso permite melhorar a observação da imagem em todas as velocidades de varredura possíveis.

O anodo acelerador fornece aos elétrons dos dois feixes a velocidade necessária para se obter na tela uma imagem suficientemente intensa. Seu funcionamento é muito semelhante ao dos anodos do catodo principal.

O colimador tem a função de concentrar e de acelerar os elétrons na direção do eletrodo de armazenamento. Esse eletrodo, por sua vez, é constituído pela parede interna do tubo, em toda a região localizada entre o fim do cilindro de vidro e o eletrodo pós-acelerador e de armazenamento.



ACIMA: conjunto de placas defletoras e dos catodos secundários no tubo de um osciloscópio com memória.



ACIMA: estrutura de um tubo de raios catódicos de persistência variável ou tubo com armazenador.

O eletrodo pós-acelerador provoca uma aceleração adicional, cuja finalidade é intensificar o feixe e facilitar o funcionamento do colimador, completando a concentração dos feixes de elétrons.

O eletrodo de armazenamento é composto por uma malha sobre a qual existe uma camada de material dielétrico, cuja superfície externa forma a **superfície de armazenamento**. Esse eletrodo tem uma ligação para o exterior, pela qual recebe a tensão de polarização. O princípio de funcionamento da superfície de armazenamento e de memorização da informação está baseado na emissão secundária de elétrons.

Se a incidência do raio catódico sobre a superfície de armazenamento produzir uma emissão secundária em que cada um dos elétrons incidentes provoque a emissão de mais de um elétron secundário, o resultado será um aumento do potencial e uma diminuição dos elétrons.

Se, porém, os elétrons que chegam superarem os que saem, o potencial diminuirá, tornando-se mais negativo.

O efeito de armazenamento desejado é obtido graças à incidência do feixe principal. Ele provoca uma emissão secundária intensa, fazendo aparecer uma acumulação de carga positiva unicamente nos seus pontos de incidência, memorizando a forma da onda que se deseja conservar.

A projeção da imagem na tela é obtida por meio dos feixes de elétrons dos dois catodos adicionais, que passam somente através dos pontos da superfície de armazenamento que estão carregados positivamente. Em seguida, os feixes de elétrons são acelerados pelo eletrodo intensificador atingindo, assim, a camada fosforizada da tela com

energia suficiente para poderem reproduzir a imagem.

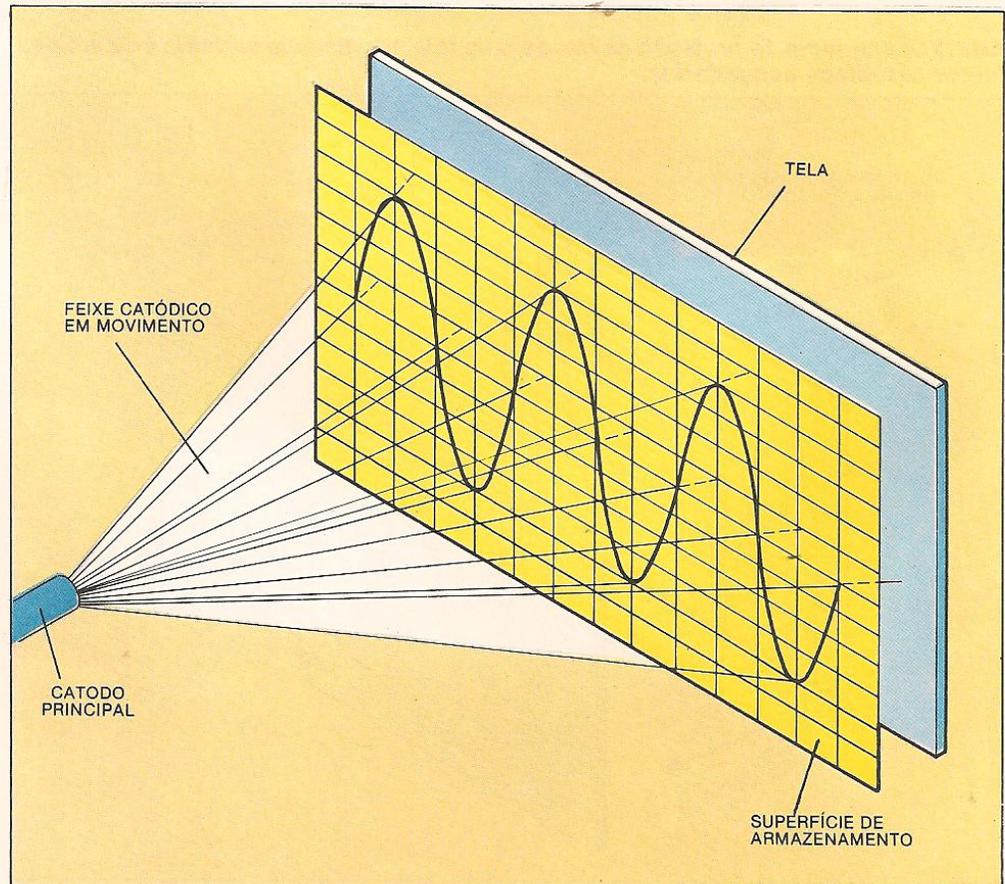
Portanto, esses feixes, além de manterem o armazenamento por emissão secundária, são acelerados até a tela, para fazer surgir a forma de onda.

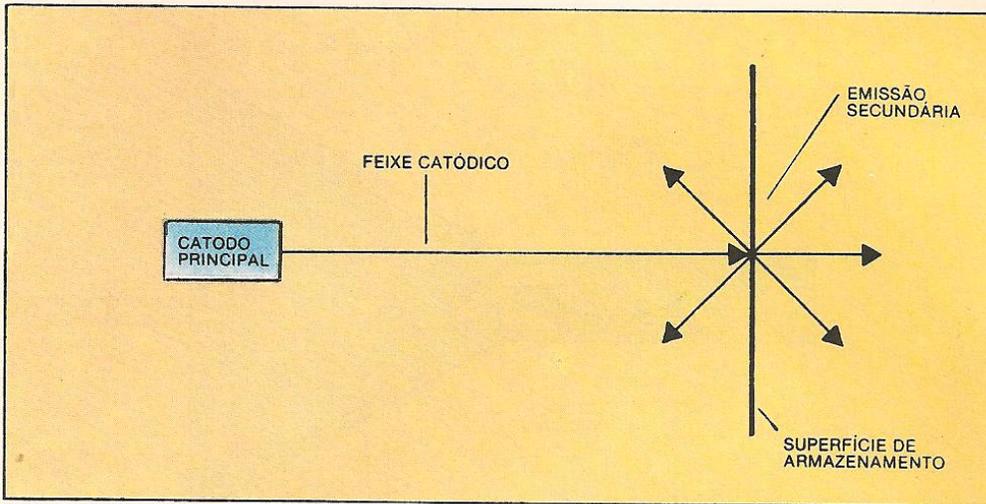
O controle externo sobre as várias for-

mas de trabalho de um osciloscópio com memória é feito por meio de um seletor, que permite escolher entre as três funções distintas de armazenamento dos sinais.

A função **PERSISTÊNCIA** (*persistence*, em inglês) está associada a um co-

ABAIXO: gravação de uma imagem no eletrodo de armazenamento.





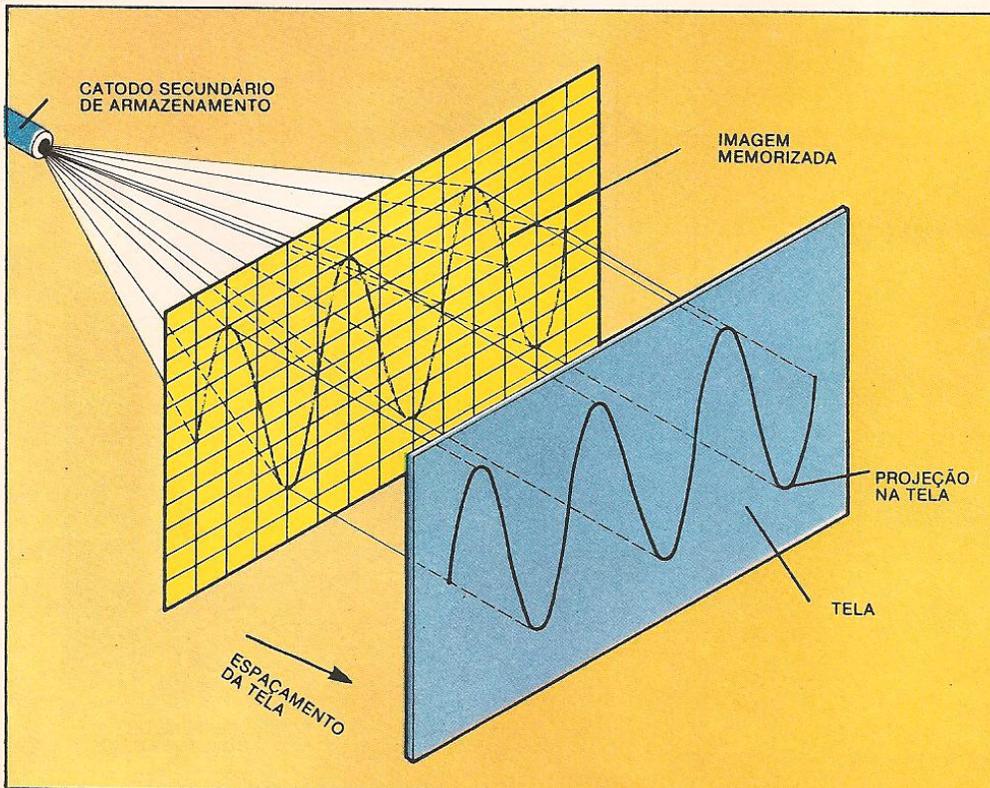
ACIMA: o efeito de persistência é produzido pela emissão secundária que tem origem no eletrodo de armazenamento.

mando que permite variar o tempo de permanência da imagem na tela. Geralmente é utilizado para a observação de formas de onda de frequência muito baixa, eliminando assim a cintilação contínua que seria produzida pela varredura convencional. É muito importante ajustá-lo, para que o tempo de armazenamento coincida com o aparecimento da varredura sucessiva na tela. Quando se deseja manter a forma da onda na tela por um longo período de tempo, é necessário passar às funções

ESCRITA (*write*), depois APAGAR (*erase*), terminando a seqüência selecionando a função ARMAZENAMENTO (*store*). Com isso, a imagem permanecerá por um período de tempo normalmente superior a uma hora.

A função ESCRITA é usada principalmente para memorizar os sinais que aparecem isoladamente, sem se repetir. Para isso, o seletor da base de tempo deverá ser colocado na posição de partida simples, gerando uma única varredura.

ABAIXO: esquema da projeção da imagem na tela por meio da varredura de um dos feixes catódicos secundários.



A persistência se predispõe automaticamente ao valor máximo, e a imagem é conservada por um tempo geralmente superior a um minuto.

A função ARMAZENAMENTO permite que se observe por longos períodos de tempo um sinal memorizado anteriormente pela função ESCRITA. Quando se seleciona este modo de funcionamento, bloqueia-se os dois canais dos sinais (A e B), juntamente com a função APAGAR.

O osciloscópio, tanto o convencional quanto o memorizador, é um excelente instrumento que permite medir tensões nos diversos pontos de uma forma de onda ou de frequência, graças às subdivisões do retículo da tela e aos comandos de amplitude vertical e de base de tempo. Porém, para que esse sistema de medição seja realmente útil e confiável, é necessário que o osciloscópio esteja perfeitamente calibrado, e que todas as indicações das diversas escalas correspondam a valores reais. A **calibração** de um osciloscópio é feita com o auxílio de alguns instrumentos de alta precisão, de onde são extraídos os sinais que devem ser observados e medidos na tela.

Se se dispuser de um sinal de amplitude e de uma frequência conhecida, colocam-se em funcionamento os potenciômetros internos de calibração, até que o número de divisões ocupadas pelo sinal na tela — multiplicado pela escala escolhida — coincida com o nível de tensão ou com a frequência aplicados pelo gerador externo. Nesse ponto, o aparelho pode ser considerado calibrado.

Normalmente, o osciloscópio oferece uma precisão em torno de 5%, o que significa que se pode prever um erro de grandeza em qualquer medida efetuada com o aparelho.

ABAIXO: detalhe da estrutura do eletrodo de armazenamento em um tubo de raios catódicos de persistência variável.

