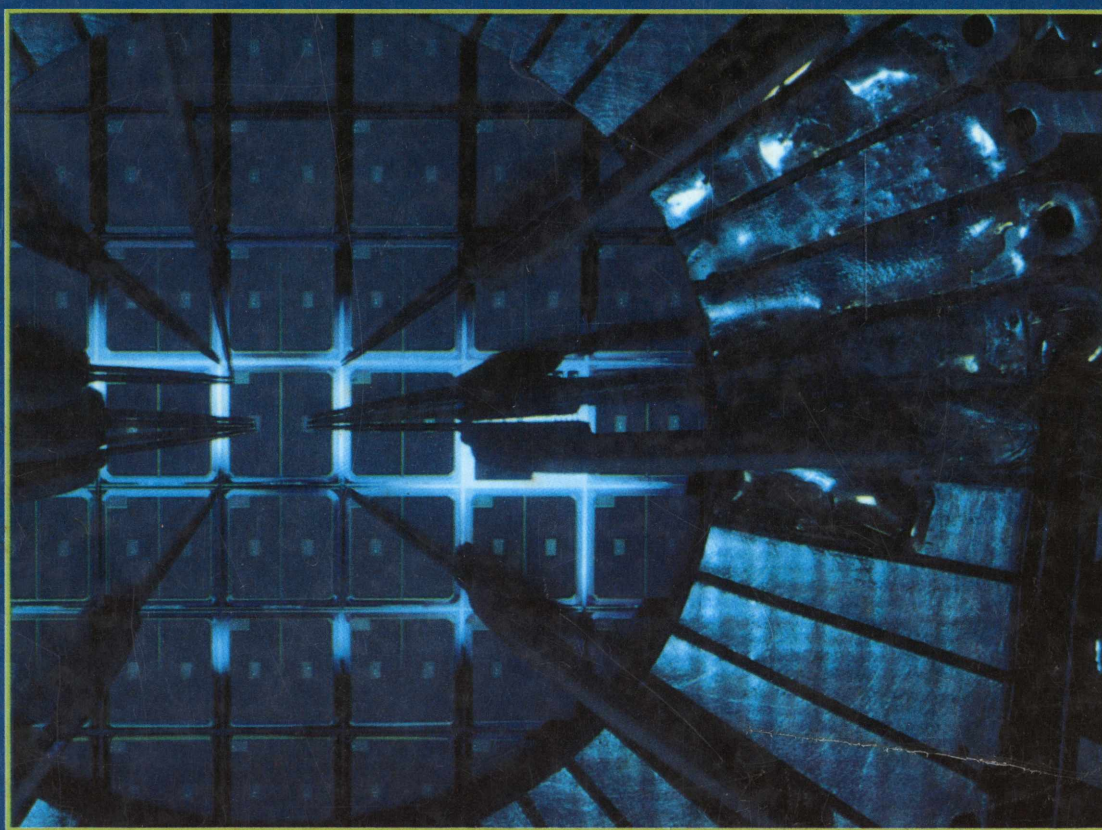


E N T E N D A O COMPUTADOR

MICROCHIPS E MICROCOMPUTADORES



NOVA CULTURAL

E N T E N D A O

COMPUTADOR

MICROCHIPS E MICROCOMPUTADORES



NOVA CULTURAL

Authorized Portuguese Edition © 1988, Editora
Nova Cultural S.A. Original edition © 1985
Time-Life Books Inc. All rights reserved.

Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida
por qualquer meio, seja eletrônico ou mecânico,
inclusive por equipamentos ou sistemas de classificação
de informações e pesquisa, sem a prévia autorização da
editora, exceto curtos trechos para resenhas, desde que
com o devido crédito.
Time-Life is a trademark of Time Inc., U.S.A.

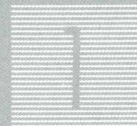
Edição organizada pela Editora Nova Cultural Ltda.
Av. Brigadeiro Faria Lima, 2000 — 3º andar
CEP 01452 — São Paulo — SP — Brasil
(Artigo 15 da lei 5988, de 14/12/1973)

Esta obra foi composta na AM Produções Gráficas Ltda.
e impressa na Divisão Gráfica da Editora Abril S.A.

ISBN: 85-13-00084-1

5

A evolução do microchip
Obras-primas de miniaturização



31

A idade de ouro do empresariado
Anatomia de um microcomputador



60

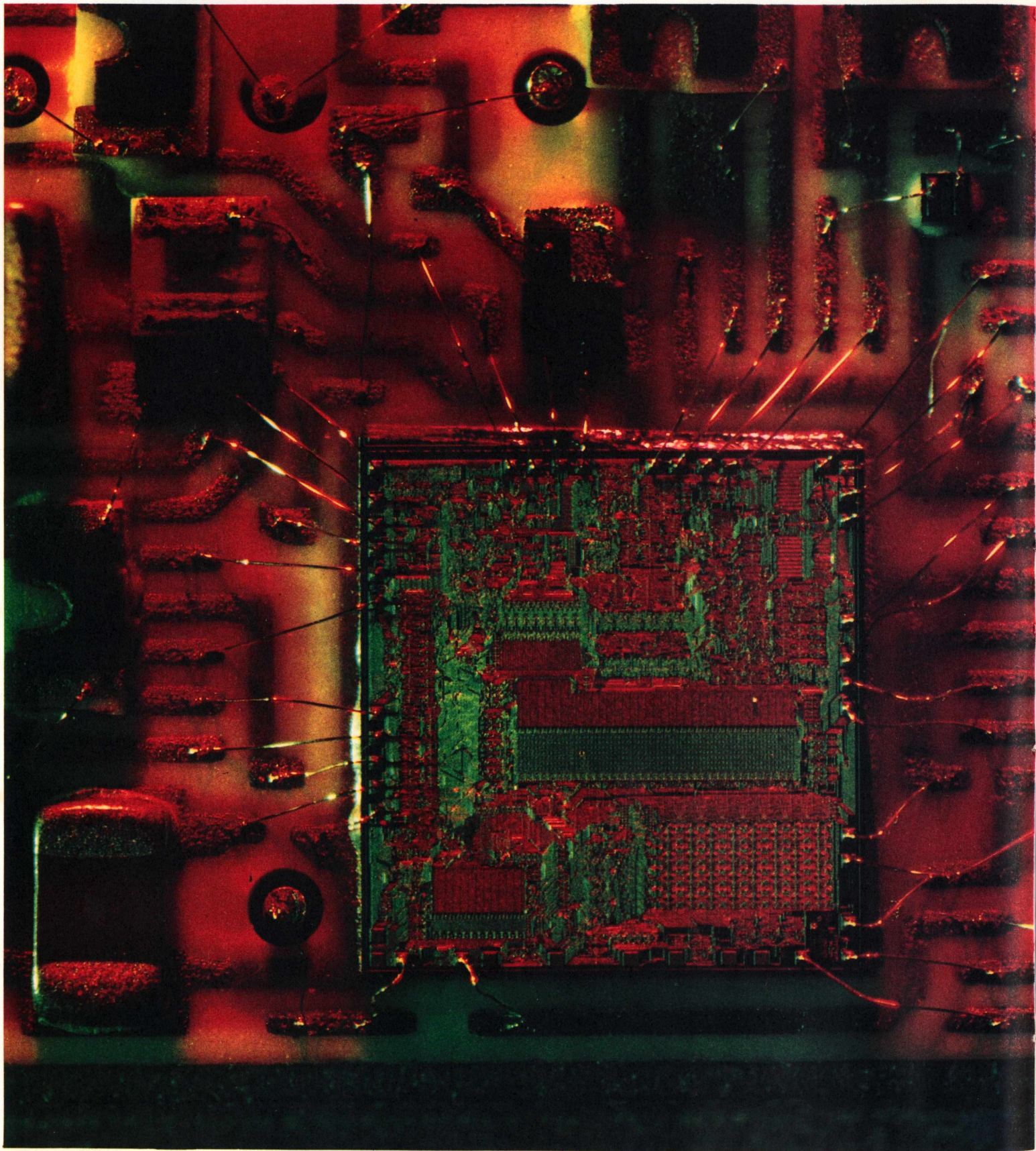
Glossário

62

Índice

64

Créditos das fotos



A evolução do microchip

No dia 1º de julho de 1948 — dois anos e meio depois de ter sido revelado ao público o ENIAC, o primeiro computador digital de grande capacidade —, uma pequena notícia apareceu na página 46 do *The New York Times*. Relatava a invenção de um novo dispositivo “chamado transistor, que tem várias aplicações no rádio, onde normalmente se emprega uma válvula eletrônica”. Embora o reconhecimento tardio, nos últimos anos, saudasse o transistor como sendo talvez a invenção mais importante do século, poucas pessoas na época reconheceram seu valor.

A notícia nada dizia acerca da possível relação entre esse dispositivo e computadores como o ENIAC, assunto que, ainda naquela época, gerava interesse para artigos de primeira página. Todavia, esse pequeno transistor — uma pecinha do tamanho de uma cabeça de alfinete, feita de um material chamado germânio e alojada num cilindro de metal brilhante de 1/2 polegada de comprimento — colocaria a eletrônica no caminho de uma miniaturização tão extraordinária que possibilitaria aos engenheiros de hoje comprimir todo o conjunto de circuitos do ENIAC num painel do tamanho de uma carta de baralho.

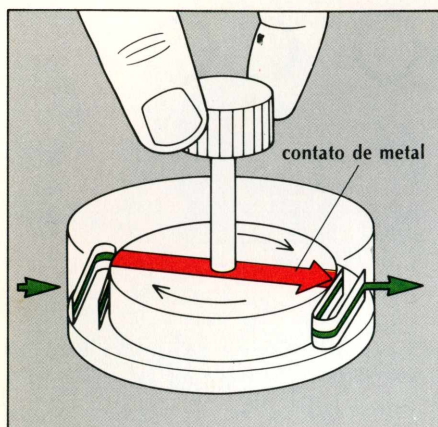
Os transistores desempenham o papel de autênticas células nervosas nos computadores atuais, graças a sua velocidade e confiabilidade em atuarem como interruptores ou amplificadores de correntes. Bloqueando a corrente elétrica ou possibilitando sua passagem por um circuito eletrônico ou, ainda, elevando uma pequena tensão acima de um dado limite, os transistores permitem que um circuito de computador expresse a linguagem binária pressuposta em todo moderno processamento eletrônico de informações.

As máquinas anteriores, tais como as construídas por Konrad Zuse, na Alemanha, e por Howard Aiken, em Harvard, nos Estados Unidos, usavam relés eletromecânicos para permitir ou obstruir a passagem da corrente elétrica pelo circuito. Os relés foram logo suplantados nos computadores pelas válvulas eletrônicas, que falavam muito mais rapidamente a linguagem do liga-desliga. Diferentemente dos relés, com seus cliques barulhentos, as válvulas eletrônicas — produto de décadas de pesquisas que se iniciaram com os primeiros ensaios de Thomas Alva Edison, em 1883 — não tinham partes mecânicas móveis. Dentro de seus pequenos recintos sem ar, toda a sua ação era eletrônica.

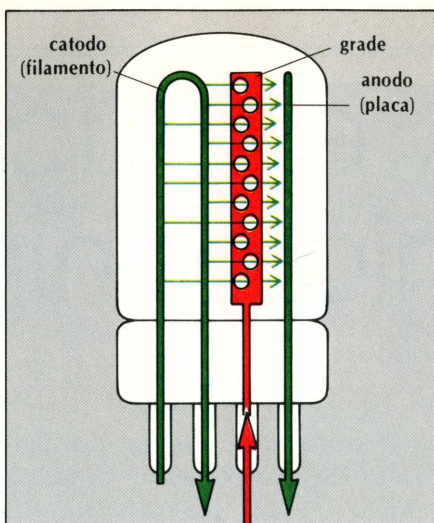
O tipo básico de válvula usada em computadores era conhecido como tríodo, pelo fato de possuir três elementos-chave: *um catodo*, que emitia partículas atô-

Despojado de seu invólucro, um circuito integrado — o alicerce do moderno computador — aparece aqui exposto com seu chip à mostra. O chip de silício, pouco maior que a unha de um bebê, é ligado aos pontos de contato elétrico do circuito integrado por meio de fios de ouro.

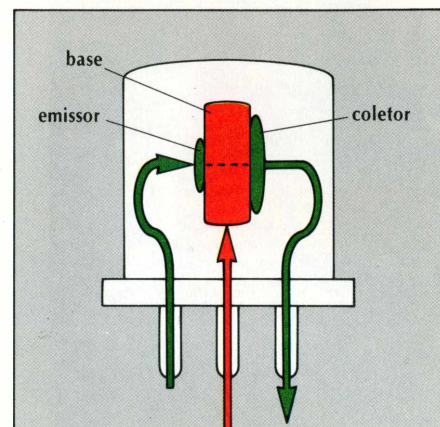
Genealogia do interruptor



Século XIX. Interruptor mecânico de giro. Ativado por um simples movimento de torção, este modelo básico de interruptor entra na posição “ligado”, quando o elemento metálico de contato (vermelho) é girado de modo a fechar o circuito entre os pontos de contato, permitindo que a corrente (verde) prossiga. Outros tipos diferentes de interruptores (à direita) têm a mesma função.



1906. Válvula eletrônica tipo triodo. Uma carga positiva aplicada à grade estimula os elétrons a se lançarem através do vácuo entre o catodo (um filamento) e o anodo (uma placa metálica), completando um circuito e permitindo a passagem de corrente. Quando carregada negativamente, a grade repele os elétrons, interrompendo, dessa maneira o circuito.



1948. Transistor de junção. Neste interruptor, o emissor e o coletor são dopados para fornecer elétrons extras e a base, para fornecer “buracos” extras, ou transportadores de carga positiva. Uma carga positiva (vermelha) aplicada à base permite aos elétrons e buracos movimentarem-se; o elétron transporta corrente (verde) do emissor para o coletor, completando o circuito.

micas de carga negativa — chamadas elétrons — quando aquecido por uma fonte externa de energia; *um anodo*, que coletava esses elétrons depois que eles atravessavam um espaçamento sem ar; e *uma grade* intermediária, que controlava esse fluxo.

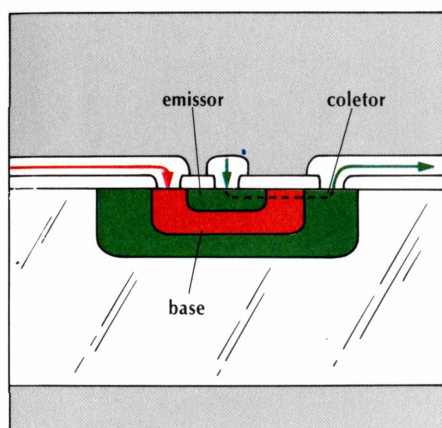
Além de funcionar como interruptor (uma carga negativa na grade repelia os elétrons vindos do catodo), o triodo desempenhava duas outras funções. Permitindo a corrente fluir apenas em um único sentido, ele agia como retificador, convertendo correntes alternadas em correntes contínuas. Essa característica permitia ao triodo, quando ligado a uma antena, detectar ondas de rádio. Outra função sua era igualmente importante: o triodo podia funcionar como amplificador. Um pequeno aumento no sinal elétrico fornecido à grade produzia um aumento bem maior na carga recebida pelo anodo.

Não obstante essas vantagens, as válvulas eletrônicas possuíam numerosas falhas: ocupavam muito espaço, “devoravam” eletricidade, geravam calor e queimavam-se depressa. E essas desvantagens ficaram dramaticamente evidentes no monstruoso ENIAC, cujas 17 468 válvulas liberavam tanto calor que, a despeito dos ventiladores destinados a esfriar a máquina, a temperatura no ambiente subia às vezes até 67°C. “As válvulas”, escreveu um historiador, “atormentaram os primeiros computadores com uma espécie de elefantíase tecnológica.” Evidentemente, sem o desenvolvimento de um novo tipo de interruptor, o computador permaneceria enorme, difícil de manejar e excessivamente dispendioso.

A BUSCA DE ALGO MELHOR

Na década de 40, época em que os computadores eletrônicos de grande capacidade fizeram sua estréia, a indústria de comunicações já procurava uma alternativa para o uso, como amplificadores, das volumosas e frágeis válvulas eletrônicas. A pesquisa centralizou-se numa classe de minerais cristalinos conhecidos como semicondutores.

Na virada do século, um desses minerais, a galena (sulfeto de chumbo), desem-



1959. Transistor planar. Idêntico, em princípio, ao transistor de junção, o transistor planar tem apenas 1/200 de polegada de comprimento. Como se vê nesta seção transversal, uma carga elétrica positiva aplicada à base (vermelho) possibilita a passagem de corrente. O processo planar permitia que dezenas de transistores, resistores e capacitores fossem produzidos ao mesmo tempo.

penhara um papel-chave nos aparelhos receptores de rádio. O contato entre um cristal de galena e um fio de metal tão fino quanto um bigode de gato agia como um retificador, possibilitando a detecção de sinais de rádio. Durante um curto período, o retificador bigode de gato foi o único detector de rádio conveniente e disponível. No entanto, o dispositivo de cristal não era confiável, e as válvulas eletrônicas, que tinham a capacidade adicional de amplificar sinais, acabaram substituindo o retificador bigode de gato nos aparelhos de rádio.

Mas a Segunda Guerra Mundial — e a crescente confiança dos militares no radar — restabeleceu o “antigo” sistema de recepção. O radar requer a detecção de sinais com frequência extremamente elevada, e a válvula eletrônica era lenta demais para retificar com precisão tais frequências. Os pesquisadores se voltaram para o bigode de gato e descobriram que os dispositivos feitos de um fio fino conectado a semicondutores como o silício e o germânio funcionavam esplendidamente. Essa descoberta incentivou pesquisas mais amplas com semicondutores: somente nos Estados Unidos, pelo menos três dúzias de laboratórios envolveram-se com essas pesquisas.

Os físicos já conheciam algumas coisas importantes a respeito da estrutura atômica e das propriedades eletrônicas dos sólidos. Sabiam, por exemplo, que a condutividade elétrica de uma substância depende da firmeza com que o núcleo de um átomo retém seus elétrons mais externos. Os metais em geral são bons condutores porque contêm muitos elétrons que não se encontram firmemente ligados a seus átomos e, por isso, podem ou ser atraídos por uma carga positiva ou ser repelidos por uma negativa. Elétrons em movimento são os transportadores da corrente elétrica, mas as substâncias isolantes, como a borracha, não conseguem conduzir eletricidade porque seus elétrons não são livres o suficiente para responderem a estímulos elétricos: permanecem cerradamente ligados aos seus átomos.

Os semicondutores, cujas propriedades ainda não estavam devidamente esclarecidas até o início da guerra, comportam-se de outra maneira. Os átomos dos cristais semicondutores distribuem-se numa rede, com elétrons formando ligações químicas entre eles. Em seu estado puro, os semicondutores atuam mais ou menos como isolantes e conduzem muito fracamente a eletricidade — isso quando a conduzem. Mas, se uns poucos átomos de certos elementos forem introduzidos na rede cristalina, a situação muda dramaticamente.

Em alguns casos, a impureza introduz átomos cuja ligação com os átomos dos semicondutores resulta num elétron extra; esse excesso de elétrons dá ao semicondutor uma carga negativa. Em outros casos, a contaminação resulta nos chamados buracos, os espaços entre as ligações onde um elétron pode encaixar-se, se estiver disponível: a conseqüente carência de elétrons dá ao semicondutor uma carga positiva. Assim, contaminando adequadamente o semicondutor, este se torna capaz de conduzir corrente. No entanto, diferentemente dos condutores metálicos, os semicondutores podem conduzir corrente de dois modos. Um semicondutor carregado negativamente, isto é, do tipo n (negativa), procurará desembaraçar-se de seus elétrons extras, produzindo uma condução elétrica tipo n. A corrente é transportada por elétrons. Entretanto, uma substância carregada positivamente, isto é, do tipo p (positiva), procurará um elétron livre para preencher seu buraco extra. Mas, quando esse buraco for preenchido, um outro será criado no lugar ocupado anteriormente por esse elétron; desse modo, o buraco comporta-se como uma carga positiva que se move no sentido oposto ao do movimento dos elétrons. Além

disso, qualquer um dos tipos de semicondutor — n ou p —, chamados portadores de minoritários — isto é, elétrons do material do tipo p e buracos do material do tipo n —, conduzem corrente no sentido oposto àquele conduzido pelos portadores majoritários, característica esta que, durante algum tempo, fora negligenciada e mal-compreendida.

No final da década de 30, os investigadores demonstraram que os semicondutores, assim como as válvulas eletrônicas, podiam atuar como retificadores. Mas até a época em que se desenvolviam intensas pesquisas relativas ao radar, durante a guerra, ninguém ainda sabia como controlar os semicondutores suficientemente bem para torná-los previsíveis e práticos como interruptores ou amplificadores. Mas, graças a essas pesquisas, os físicos desenvolveram métodos muito mais confiáveis para “dopar”, ou contaminar, os cristais de germânio e silício, criando, assim, semicondutores com carga elétrica adequada. Por exemplo, a introdução de quantidades mínimas de fósforo cria uma proporção extra de elétrons livres e produz uma condução do tipo n. Por sua vez, a dopagem do cristal com boro cria, ao contrário, um excesso de buracos e produz uma condução do tipo p.

No Bell Laboratories da AT&T e em outros laboratórios, os cientistas que tomaram parte nas pesquisas desenvolvidas durante a guerra estavam convencidos de que os semicondutores teriam um futuro brilhante. A AT&T tinha necessidade premente de dispositivos para substituir as válvulas eletrônicas e os relés eletromecânicos, que funcionavam como amplificadores e interruptores do sistema telefônico em escala nacional. No verão de 1945, pouco antes do final da guerra, a Bell mobilizou enormes recursos e deu início a um esforço da maior importância no campo da física do estado sólido. Dois membros-chave da equipe de físicos designados para estudar os semicondutores eram Walter Brattain, um veterano experimenter da Bell, e John Bardeen, jovem e brilhante teórico, recém-admitido na companhia. O líder da equipe — e sua mais forte personalidade — era William Shockley, com 35 anos naquela época.

Shockley era extremamente hábil em reduzir um problema de pesquisa aos seus elementos mais simples e, depois, dirigir os experimentos no sentido correto. Nessa ocasião, entretanto, a maneira particular com que abordava a fabricação de um amplificador, embora teoricamente correta, não produziu um dispositivo que funcionasse durante os testes iniciais. Mas, ao investigarem as razões do fracasso, Bardeen e Brattain deram um novo rumo aos experimentos. Trabalharam com um cristal de germânio do tipo n soldado a um disco de metal. Pressionadas sobre o germânio, a somente 2/1 000 de polegada de distância dele, as extremidades em linha de duas delgadas folhas de ouro constituíam, na verdade, dois bigodes de gato. Um terceiro contato metálico, preso à base de metal e germânio, formava uma base comum. Em 23 de dezembro de 1947, os dois pesquisadores aplicaram um sinal de áudio em um dos contatos de ouro que atuava como emissor e que estava polarizado por uma pequena tensão positiva. O outro contato, polarizado com uma tensão negativa muito maior, atuava como eletrodo coletor. O resultado foi uma amplificação do sinal medido pelo coletor.

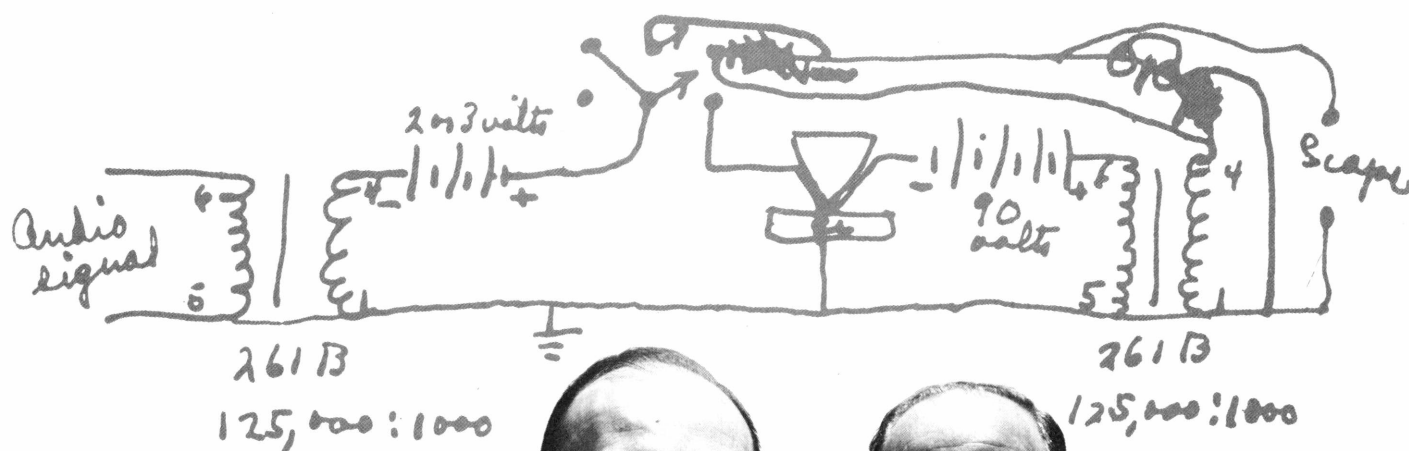
Depois de quase três anos de pesquisas, a um custo estimado de 1 milhão de dólares, a Bell possuía o seu amplificador de semicondutor. O sucesso do dispositivo sugeria que as cargas positivas — ou buracos — introduzidos no germânio, no emissor, fluíssem através da superfície do germânio para o coletor, juntando-se à corrente do coletor. Como transferia corrente através de um resistor — isto é,

numa superfície normalmente resistiva —, o dispositivo foi primeiramente batizado como transresistor, nome que, logo depois, foi abreviado para transistor. Uma versão “aerodinâmica”, apresentada ao público seis meses depois, despertou pouco interesse do *The New York Times* e de outros jornais. E até mesmo os cientistas da Bell não ficaram completamente satisfeitos com o primeiro transistor, conhecido como transistor de contato de ponta.

Talvez para compensar o fato de não haver compartilhado diretamente dessa invenção, Shockley pôs-se a planejar experimentos que explicassem os fenômenos que ocorrem na superfície do transistor de contato de ponta. Em questão de dias, ele desenvolveu grande parte da teoria sobre aquilo que se comprovou não ser um mero experimento, mas sim um transistor no sentido completo da palavra. Mas aperfeiçoá-lo requeria tanta persistência que um colega de Shockley, admirado, referiu-se ao dispositivo chamando-o de “persistor”.

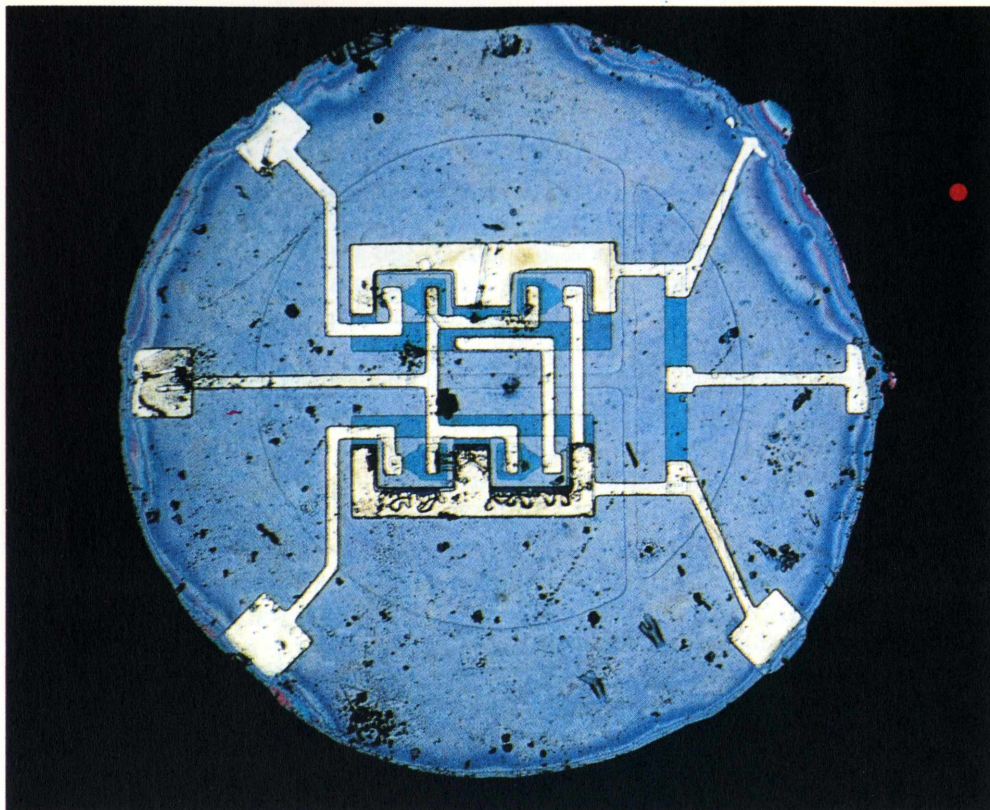
ESTRÉIA DO TRANSISTOR DE JUNÇÃO

Em 1951, Shockley presenteou o mundo com o primeiro transistor de junção confiável, uma espécie de sanduíche de três camadas de germânio encerrado num invólucro de metal que media 1/2 polegada de altura. Naquela que, posteriormente, viria a tornar-se a forma mais comum desse transistor, chamada de variedade



John Bardeen, William Shockley e Walter Brattain (da esquerda para a direita), cientistas do Bell Laboratories, compartilharam em 1956 o Prêmio Nobel de Física, por sua descoberta do efeito transistor. Acima deles, está o esboço original, reproduzido do caderno de anotações de Brattain, do primeiro aparelho que demonstrou o efeito, em 1947.





Condutores de alumínio em forma de aranha (branco) ligam transistores em forma de cone (azul) e resistores em forma de barra sobre um fino chip destinado a executar operações lógicas num computador. Chips como este — o desta figura foi aumentado cerca de 60 vezes (o círculo vermelho, no canto superior direito, representa o tamanho real) — foram produzidos em massa pela primeira vez graças ao revolucionário processo planar, no início da década de 60.

n-p-n: uma fina camada de semiconductor do tipo p colocada, como se fosse um sanduíche, entre duas camadas de material do tipo n. Uma camada do tipo n servia de emissor; a outra, de coletor; e a camada do meio, de tipo p, constituía a base.

Nas duas junções — entre o emissor e a base, e entre a base e o coletor — ocorre um complexo intercâmbio de elétrons e buracos, peculiar aos semicondutores. Esse intercâmbio cria áreas de depleção, como são chamadas, em cada lado das junções. Quando o transistor está em repouso, a área de depleção é demasiado larga para permitir que a corrente flua do emissor para o coletor, através das junções. Mas, quando se faz com que as camadas n tornem-se suficientemente negativas em relação à camada p, a área de depleção encolhe e a corrente flui. Além disso, uma tensão controlada, de valor muito pequeno, aplicada à base, pode atuar como interruptor ou amplificador da corrente principal.

O transistor pode fazer tudo o que uma válvula faz mas numa fração do espaço que esta ocupa e sem nenhuma de suas desvantagens, entre as quais: o frágil recipiente de vidro, o filamento que demora um certo tempo para esquentar, o superaquecimento e o voraz consumo de energia. O modelo de junção de Shockley eventualmente dominaria o mercado, deixando para trás a versão contato de ponta. Mas a criação de seus colegas Bardeen e Brattain estava longe de ser esquecida. Em 1956, todos os três foram reconhecidos pela comunidade científica quando partilharam do Prêmio Nobel de Física. (Em 1972, Bardeen ganhou, fato raro, um segundo Prêmio Nobel, por pesquisas realizadas posteriormente na Universidade de Illinois sobre supercondutividade de metais em temperaturas extremamente baixas.)

Embora fosse uma realização científica prodigiosa, o transistor não alcançou, de imediato, a supremacia comercial. As dificuldades de fabricação mantinham muito altos os preços. Os melhores transistores custavam cerca de 8 dólares cada um, numa época em que o preço de uma válvula eletrônica era apenas 75 cents.

Além disso, foram necessárias muitas pesquisas adicionais para que se entendesse plenamente o transistor.

Em meados da década de 50, no entanto, o custo do transistor reduziu-se dramaticamente. Em 1954, Gordon Teal, físico que se transferira da Bell para a Texas Instruments, aperfeiçoou um transistor de junção feito de silício em vez de germânio. O silício, principal componente da areia comum, é o segundo mais abundante elemento químico da Terra, só perdendo para o oxigênio. O germânio, ao contrário, é um elemento raro, mais caro que o ouro, encontrado apenas como subproduto do refinamento do zinco e da mineração do carvão.

O melhoramento nas técnicas de produção diminuiu ainda mais os custos. Por exemplo, os pesquisadores aprenderam a produzir grandes cristais isolados de silício, que eram muito mais puros que os blocos multicristalinos. Descobriram também um novo método de introduzir as impurezas desejadas — mais rápido e preciso que o anterior e que deixava a impureza em grãos sobre o silício fundido. O novo método de difusão, como era chamado, adicionava elementos de dopagem através de um processo de vaporização tão preciso que foi comparado à adição de um único grão de sal em 38 vagões de carga de açúcar.

O custo decrescente do transistor ajudou a acelerar a miniaturização na eletrônica — tendência encorajada pelos militares, que precisavam alojar complexos conjuntos de eletrônica em mísseis e em outras armas, e também pelo ainda embrionário programa espacial dos Estados Unidos. Essa tendência, por sua vez, proporcionou uma série de avanços nas técnicas de fabricação.

Assim como as válvulas eletrônicas, os transistores precisavam ser guarnecidos manualmente de fios soldados para formar circuitos. O processo era entediante, e os circuitos resultantes ocupavam mais espaço do que desejavam os proponentes da miniaturização. Além disso, os componentes formavam um pequeno montículo, ou mesa, que se projetava acima do silício. Estavam, por isso, sujeitos a contaminação e avarias. A tarefa de ligar os transistores por fios era duplamente ineficiente tendo em vista o método pelo qual eram fabricados: em lotes. Vários transistores eram gravados simultaneamente, por meio de ataque químico, sobre uma grande pastilha de silício, utilizando-se para isso um processo de fotografação; eram separados, para serem mais tarde novamente reunidos, formando circuitos.

Um processo radical para produzir circuitos menores, a um custo de produção também menor, fora sugerido em 1952 por G. W. A. Dummer, um inglês especialista em radar. Num simpósio realizado em Washington, Dummer propusera a incorporação de circuitos completos — todos os transistores, resistores e outros componentes — num único bloco sólido de material semicondutor. Como acontecera com Shockley, a tentativa de Dummer para pôr em prática sua proposta fracassou. Mas um engenheiro norte-americano, que não tivera conhecimento do trabalho de Dummer, desenvolveu mais tarde a mesma teoria — e a fez funcionar.

A CRIAÇÃO DO CIRCUITO INTEGRADO

Homem calmo e introvertido, Jack St. Clair Kilby não conseguira entrar no Massachusetts Institute of Technology — MIT — porque o resultado de seu exame de admissão em matemática ficou três pontos abaixo do nível exigido. Em maio de 1958, depois de trabalhar durante uma década com transistores para um fabricante de componentes de rádio e televisão — a única empresa que lhe ofereceu emprego após ter-se graduado pela Universidade de Illinois —, Kilby finalmente

teve a oportunidade de trabalhar para a companhia Texas Instruments.

Essa companhia, que desenvolvera quatro anos antes o primeiro transistor de silício bem-sucedido comercialmente, estava então envolvida com um esquema de miniaturização proposto para o Exército dos Estados Unidos. A idéia, batizada com o nome de micromódulos, era imprimir componentes eletrônicos sobre pequenas pastilhas de cerâmica e, depois, uni-las com fios numa pilha, de modo a formarem um circuito.

Kilby achou o plano muito complicado e começou a procurar uma alternativa. A solução lhe apareceu em julho, quando a companhia suspendeu suas atividades normais para um período de férias de duas semanas. Nessa oportunidade, Kilby, novo demais no emprego para ter direito a férias, encontrou-se sozinho no laboratório. A chave que o levou à descoberta foi o fato de ele ter compreendido que os resistores, bem como os componentes que retêm carga, chamados capacitores, podiam ser fabricados com o mesmo material semicondutor de que eram feitos os transistores e também que todos esses componentes podiam ser fabricados ao mesmo tempo, integrados em um único pedaço de semicondutor. Poucos meses depois ele provou, para seu cético patrão, que a idéia funcionava ao construir um protótipo grosseiro.

O primeiro desses circuitos integrados, ou CI, como viriam a ser conhecidos, constituía-se numa delgada pastilha de germânio com 1 centímetro de comprimento. Não era um dispositivo elegante. Uns cinco componentes ficavam eletricamente isolados uns dos outros, principalmente por serem modelados em forma de L, U e outras configurações. Os delgados fios que ligavam os componentes entre si e à fonte de alimentação eram simplesmente soldados, e o todo mantinha-se coeso por meio de cera. Mas funcionava. A Texas Instruments anunciou seu nascimento em janeiro de 1959. Mas, devido às falhas apresentadas, o novo dispositivo foi rapidamente substituído por uma versão de fabricação mais fácil.

Um detalhe interessante: os homens responsáveis pelo desenvolvimento desse novo modelo eram protegidos de William Shockley, o criador do melhor transistor. Este cientista, que tinha deixado o Bell Laboratories em 1955, iniciou sua própria companhia de semicondutores perto de sua cidade natal, Palo Alto, recrutando talentos promissores para a pesquisa. "Ele era muito atraente para sua jovem e brilhante equipe", lembrou um colega seu, "mas rigoroso como o inferno." Dois anos depois, oito dos mais brilhantes talentos desertaram. Estavam fartos das excentricidades de Shockley, como a de afixar na parede o salário de cada funcionário e exigir que cada um avaliasse os outros. Os "oito traidores", como Shockley os chamava, fundaram sua própria companhia, a Fairchild Semiconductor, somente a doze quarteirões de distância.

A CAMINHO DE UM CIRCUITO MELHOR

Um ano mais tarde, no final de 1958, um dos membros do grupo dissidente fez um importante avanço tecnológico. Suíço de nascimento, o físico Jean Hoerni melhorou o complicado "método mesa" de fabricar transistores, encontrando uma maneira de usar delgados revestimentos de dióxido de silício para isolar e proteger as junções do transistor. Seu método foi denominado "processo planar", pois o transistor assim produzido era achatado, sem nenhuma mesa protuberante.

O processo planar levou a outro gigantesco passo — este obtido graças ao diretor de pesquisa e desenvolvimento da Fairchild, Robert Noyce, de 31 anos.

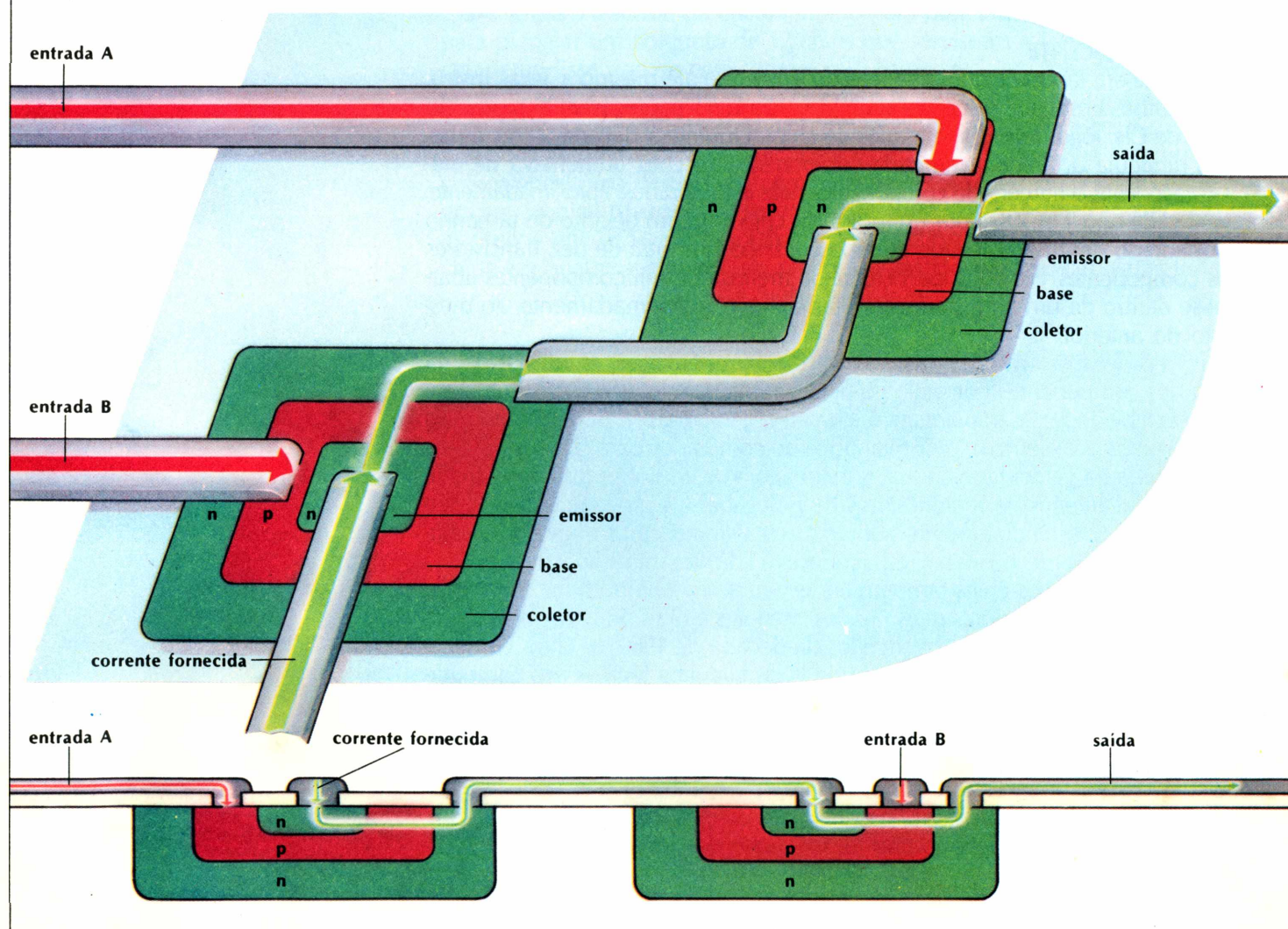
Dentro de uma porta lógica

Representação estilizada do corte transversal (embaixo) e também de uma vista do conjunto (abaixo) de um par de transistores que controlam a passagem de uma corrente que lhes é fornecida (seta verde), com a qual põem em operação uma porta de duas entradas. Dois sinais independentes de nível alto (setas vermelhas) permitem aos transistores conduzirem a corrente através da porta. Se um ou ambos os sinais fossem de nível baixo, a corrente não poderia prosseguir

Todo computador moderno, independentemente de seu tamanho ou função, usa portas lógicas para executar o trabalho.

Todas as portas lógicas são feitas com os mesmos componentes básicos, principalmente transistores — interruptores para ligar e desligar — que deixam passar uma corrente elétrica ou a interrompe. Nas portas, os transistores estão dispostos de tal modo que se torna possível uma terceira operação: a porta recebe um sinal de nível baixo e o inverte, enviando para fora um sinal de nível alto, e vice-versa.

A figura abaixo representa, de forma esquemática, dois transistores ligados de modo a realizar a operação de uma porta. Esta só deixa passar corrente se um sinal de nível alto aparecer em todas as suas entradas. Esses sinais, vindos de outras portas, ligam os transistores, permitindo que a corrente flua entre o emissor e o coletor. O resultado é que a corrente pode continuar a fluir rumo a outra porta do circuito



No processo planar de Hoerni, Noyce percebeu pistas para a construção de um circuito integrado. Cerca de um mês antes de a Texas Instruments anunciar a invenção de Jack Kilby, Noyce esboçou seu próprio esquema num caderno de anotações de laboratório.

Seu dispositivo, concluído em 1959, oferecia várias vantagens em relação à versão de Kilby. Uma delas era a introdução de uma tecnologia desenvolvida em Massachusetts, por Kurt Lehovec. Em abril desse ano, poucos meses depois de o feito de Kilby tornar-se conhecido mundialmente, Lehovec tirou uma patente para um “Conjunto de Semicondutores Múltiplos”, cujos componentes estavam separados uns dos outros por junções p-n, que deixavam a corrente fluir somente numa única direção. O dispositivo de Noyce combinava junções p-n com o processo planar de Hoerni e seu revestimento de dióxido de silício. Para proporcionar as ligações de fios entre os componentes, volatilizava-se uma camada de metal no topo do revestimento, de modo que fossem preenchidos os minúsculos orifícios gravados com ácido sobre a superfície — processo bem mais eficiente que o método convencional de inserir manualmente pequenos fios, com a ajuda de um microscópio.

UM SUCESSO CRESCENTE

O CI resultante era tão mais prático que o de Kilby que até mesmo a Texas Instruments o adotou. Em 1962, tanto a Fairchild como a TI começaram a produção em massa de CIs, logo depois apelidados de chips. Durante a década de 60, à medida que diminuía o tamanho de cada componente do chip, aumentava de maneira surpreendente o número de componentes nele incorporados: aproximadamente, dobrava a cada ano. Em 1964, por exemplo, um chip com um décimo do tamanho de um quadrado de uma polegada de lado continha um total de dez transistores e outros componentes. Por volta de 1970, nada menos que mil componentes abarrotavam-se dentro de um chip do mesmo tamanho, e, aproximadamente, ao mesmo custo do anterior.

Os chips economizavam espaço, acabavam com a perda de tempo necessária para juntar os componentes por meio de fios e, minimizando as conexões, aumentavam a confiabilidade. Outra vantagem igualmente importante: trabalhavam mais depressa. Os impulsos elétricos, precipitando-se de comutador para comutador com cerca de metade da velocidade da luz, tinham agora de percorrer distâncias medidas em apenas centenas de milionésimos de polegada. Os programas militares e o programa espacial imediatamente adotaram essas minúsculas maravilhas, utilizando-as no controle de mísseis e espaçonaves cada vez mais sofisticados.

A velocidade dos novos chips também era extremamente importante para o desenvolvimento de computadores mais rápidos, menores e mais poderosos para aplicações comerciais e científicas. Em meados da década de 1960, os chips começaram a entrar nessa arena, primeiro substituindo os circuitos lógicos dos computadores, que se compunham de transistores isolados, e depois suplantando a chamada memória de núcleo, que armazenava informações sob a forma de sinais magnéticos, num conjunto de núcleos de ferrita — minúsculas argolinhas de ferro alinhadas sobre fios.

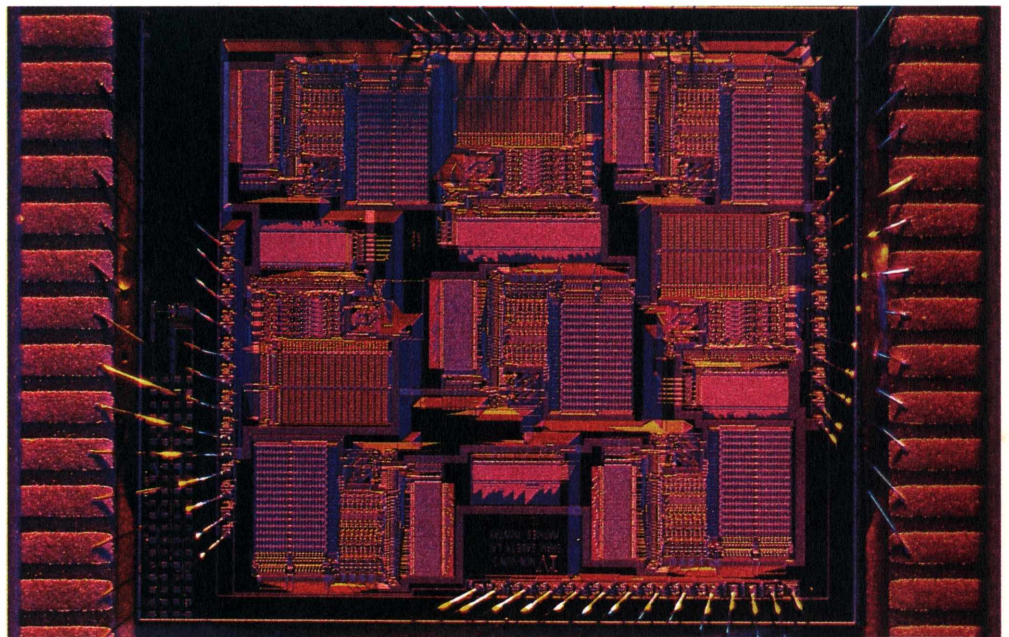
Foi pioneira no desenvolvimento do chip de memória para computador uma companhia chamada Intel — nome composto por partes das palavras *integrated electronics* (eletrônica integrada). Seus fundadores conheciam muito bem o assunto. Eram Robert Noyce e dois colegas do grupo dos “desertores” de Shockley que ha-

viam iniciado a Fairchild Semiconductor. A Intel era, na verdade, apenas uma das cinquenta companhias fundadas por antigos funcionários da Fairchild, ou "Fairchildren", como alguém as batizou.

Com seu padrão de produção hoje familiar, a Intel instalou sua empresa perto de Palo Alto, em 1968. Dois anos mais tarde, a firma lançou o primeiro chip de memória, que podia armazenar um kilobit de informações. (Um kilobit, freqüentemente abreviado com o símbolo K, consiste em 1 024 bits, ou unidades binárias de informação equivalente a cerca de 25 palavras de cinco letras.) Nas velhas memórias de núcleo magnético, cada núcleo retinha um bit de informação: um *um* ou um *zero*, *sim* ou *não*. Assim, o novo chip da Intel, que tinha menos de 1/7 de polegada de comprimento, substituiu 1 024 núcleos, que ocupavam um espaço de cerca de 80 polegadas quadradas.

Mas um engenheiro da Intel, de 34 anos, chamado Ted Hoff, já trabalhava num projeto que comprovaria ser ainda mais notável. Marcian Edward Hoff Jr. realizara pesquisas avançadas com semicondutores em Stanford. Integrou-se na Intel logo após sua fundação porque "queria trabalhar numa idéia que tivesse potencial econômico".

Seu projeto resultou da encomenda de um fabricante japonês que pediu à Intel para planejar um conjunto de 12 chips que servissem a uma nova família de calculadoras. Esse tipo de chip sempre fora *hard-wired*, isto é, padronizado de maneira permanente, o que permite ao conjunto dos circuitos executar apenas certas funções. Nem a Intel nem Hoff tinham muita experiência com esses dispositivos. Analisando o problema de uma nova perspectiva, Hoff julgou que o sistema de multi-chip proposto era demasiado complexo para ser fabricado a preço baixo. Auxiliado por Stanley Mazor, que se uniu à Intel em 1969, e por Federico Faggin, que aí chegou em 1970, Hoff propôs uma alternativa engenhosa. Comprimiu os doze chips em quatro, incluindo um único processador que executava as funções lógi-



Equipado com nada menos que oito processadores separados, este chip (cujo tamanho real está representado pelo quadrado vermelho) é um protótipo, planejado por cientistas da Universidade de Colúmbia, para um computador chamado non-von Neumann.

cas e aritméticas de vários chips. O processador abrigava 2 250 transistores num chip não maior que a cabeça de uma tacha. Além disso, o dispositivo não era *hard-wired*. Suas partes estavam dispostas de tal forma que, como no processador central de um computador de grande porte, ele podia ser programado para executar quase todas as funções desejadas.

Apresentado no final de 1971, esse microprocessador, apelidado de 4 004, continha todas as funções de uma unidade central de processamento de um computador. E, quando era conectado a apenas quatro outros chips que continham memória, controle e circuitos de entrada e saída, resultava em um microcomputador, instrumento tão poderoso quanto os computadores de grande porte de meados da década de 50.

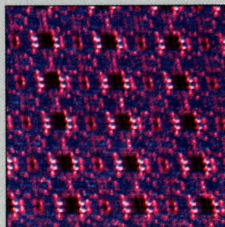
O ADVENTO DA TECNOLOGIA MOS

Dúzias de microprocessadores logo apareceram competindo no mercado. Seu desenvolvimento fora estimulado pelo ressurgimento de uma tecnologia que se mantivera, por uns tempos, em segundo plano, embora tivesse sido extensamente utilizada no início da década de 70. Era o transistor MOS — semicondutor de óxido metálico —, inventado uma década antes pela RCA. O dispositivo usava um depósito muito fino de metal (posteriormente polissilício) como porta — equivalente à base no transistor de junção e que servia para ligar e desligar o transistor quando lhe era aplicada uma tensão adequada. O transistor MOS tornou possível “espremer” um número ainda maior de componentes num único chip, como também precipitar a redução dos preços. (No final da década de 70, alguns chips eram vendidos por menos de 5 dólares cada.) Não apenas isso. O transistor MOS também consumia menos energia elétrica. Isso significava que ele gerava menos calor, fator que antes limitava a densidade de integração. Conjuntos de circuitos que consistiam em até quinze camadas podiam agora alojar-se num chip de 4/1 000 de polegada de espessura.

Assim, por volta de 1981, somente uma década após a invenção de Ted Hoff, a Hewlett-Packard pôde introduzir um microprocessador mais poderoso que as unidades centrais de processamento de muitos computadores contemporâneos de grande porte. Sua velocidade — podia multiplicar dois números de 32 bits em 1.8 milionésimo de segundo — tinha origem num conjunto de 450 000 transistores MOS ligados por quase 17 metros de fios de tungstênio depositado em forma de vapor. Tudo isso estava contido num chip de silício com apenas a quarta parte de um quadrado de uma polegada de lado, menos espaço que aquele ocupado por um único transistor antes da invenção do circuito integrado.

É provável que essa redução tão extraordinária do tamanho dos componentes, conhecida no comércio como Integração em Muito Grande Escala ou VLSI (Very-Large-Scale-Integration), prossiga até a década de 90. Os engenheiros prevêem que se chegará a incorporar 10 milhões de componentes num chip do tamanho de uma unha antes que a presente revolução em microeletrônica prossiga seu curso.

Obras-primas de miniaturização



Os engenheiros o denominam chip. Esse nome, mesmo modesto, está bem de acordo com seu tamanho, embora não reflita suas assombrosas capacidades. Não maior que uma unha — e, com frequência, muito menor —, essa fina lâmina, de substância fosca e aparência metálica, chamada silício, pode processar ou armazenar informações para quase todas as tarefas imagináveis, desde a operação de computadores, *video-games* e aparelhos domésticos até o controle de robôs numa linha de montagem.

Cada chip moderno é um quebra-cabeça em camadas, formado de muitas centenas de circuitos tão pequenos que não podem ser vistos a olho nu. Em parte, esses circuitos consistem de componentes passivos, como os resistores, que se opõem ao fluxo de eletricidade, e os capacitores, que podem armazenar uma carga. Mas os elementos-chave são os transistores, dispositivos que podem amplificar uma tensão ou bloquear e permitir a passagem da corrente elétrica e, com isso, falar a linguagem binária do processamento eletrônico de informações.

Os diversos componentes de um chip são “modelados” numa mesma peça de silício, elemento muito comum que constitui, em peso, 28% da crosta terrestre. Normalmente ele é incapaz de conduzir eletricidade. Porém, se for tratado com substâncias dopantes — como o boro ou o fósforo, em quantidades mínimas —, sua estrutura cristalina ficará sutilmente alterada, permitindo a transmissão de impulsos elétricos que se movem com a metade da velocidade da luz.

Antes da invenção do circuito integrado, em 1959, cada componente de um circuito eletrônico tinha de ser fabricado separadamente e depois unido aos outros por meio de fios. Os chips mudaram tudo isso e, além de mais versáteis, eles tornaram os equipamentos eletrônicos mais baratos, menores, mais confiáveis e rápidos.

A fabricação de um chip, camada por camada, envolve uma fotogração extremamente precisa. Esse processo exótico e cuidadoso, em parte ilustrado nas páginas seguintes, criou toda uma nova indústria, cuja projeção de rendimentos para o ano 2000, a nível mundial, excede a casa dos 60 bilhões de dólares. A essa altura, a indústria eletrônica como um todo, tendo o chip como suporte, será de longe a maior indústria do mundo.

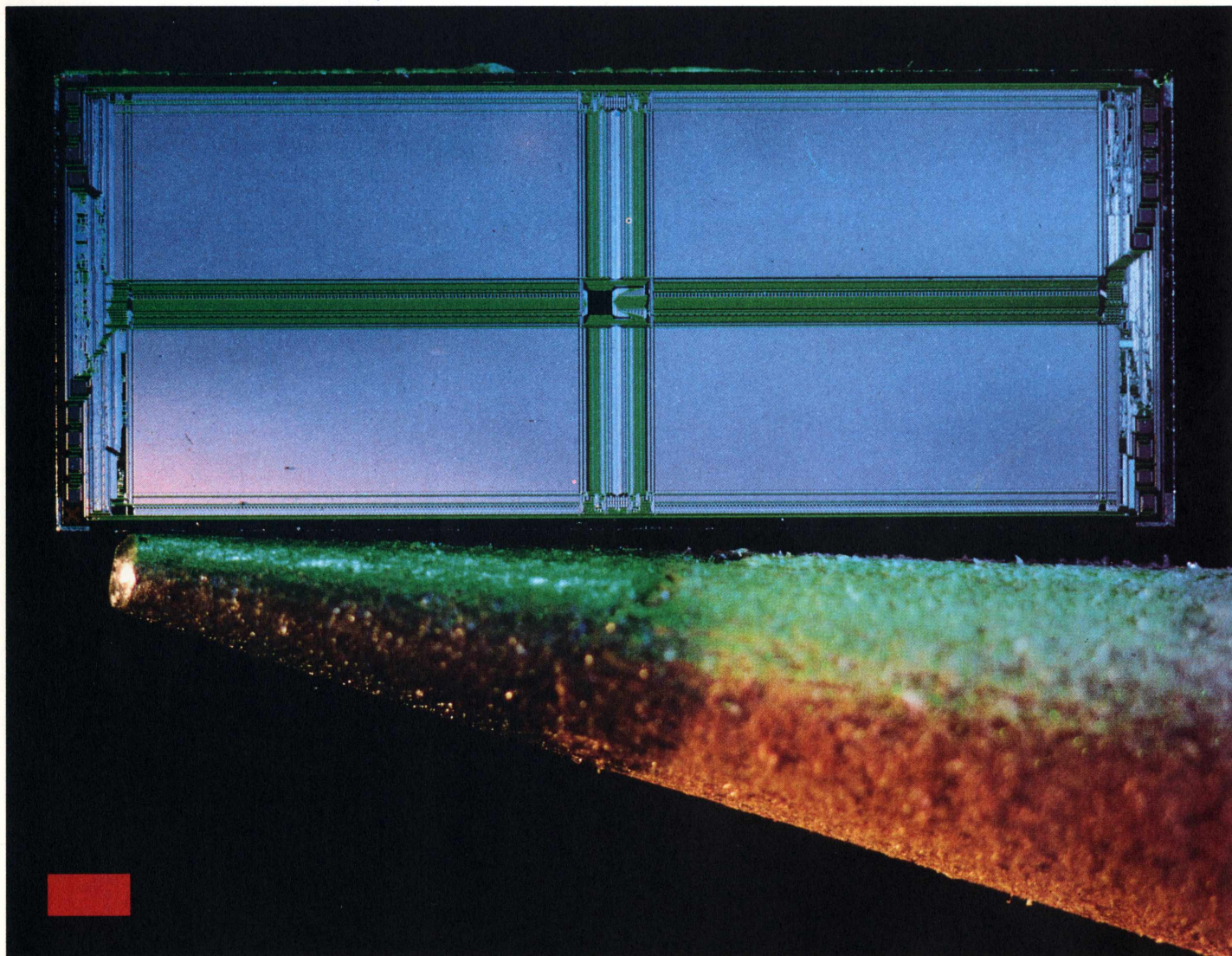
Um chip de memória

Estas três fotografias, tiradas através de um microscópio, mostram ampliações progressivas da superfície densamente compactada de um chip de memória para leitura e gravação, cujo tamanho real é representado pelo retângulo vermelho, no canto inferior esquerdo. Também conhecido como chip RAM, ele fornece armazenamento temporário de dados, quando o computador está ligado; quando a corrente é interrompida, os dados desaparecem.

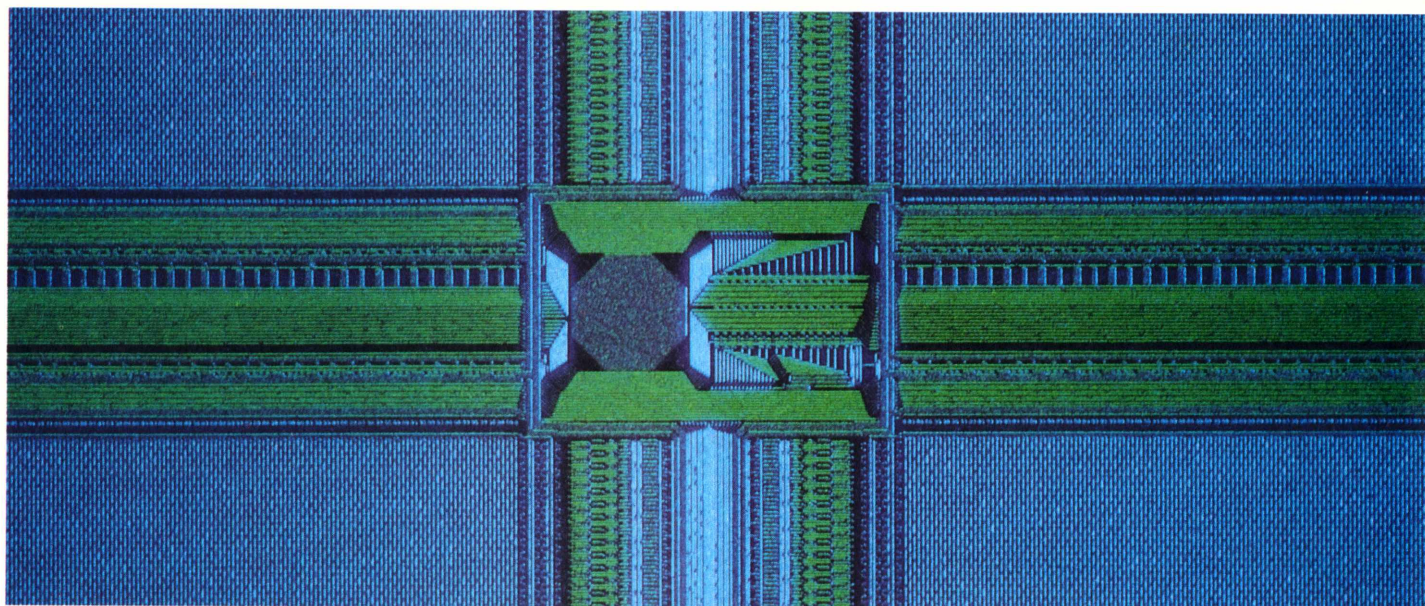
O chip RAM destas fotos contém mais de 600 000 transistores e outros componentes, o que lhe confere uma capacidade líquida de 256 kilobits — ou 262 144 bits — de informações, o suficiente para reter todo o texto de um capítulo desta obra. Cada bit é armazenado numa célula individual de memória, que consiste em dois componentes eletrônicos: um capacitor, que

retém os dados na forma de uma carga elétrica ou na ausência dela; e um transistor, que “liga a chave” para liberar a informação ou permitir que um novo bit entre numa célula vazia.

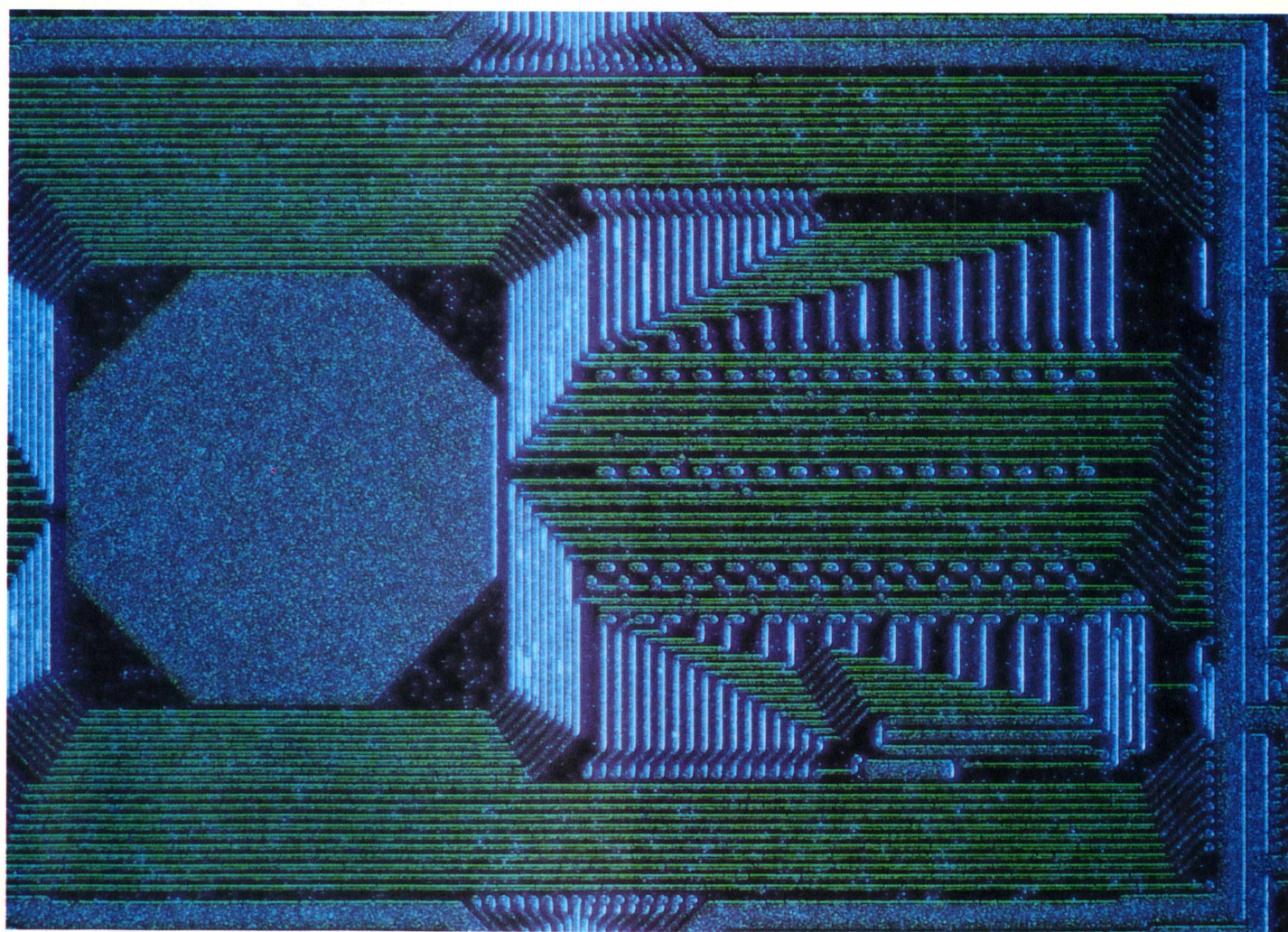
Todo o volume das 262 144 células de memória é dividido em quatro partes iguais. Dentro de cada um dos quadrantes retangulares, as células distribuem-se em colunas e fileiras, como um quadriculado. Essa disposição dá a cada célula suas próprias coordenadas. A localização das coordenadas adequadas é função das duas faixas de circuitos de decodificação, que bisseccionam o chip horizontal e verticalmente. Quando o processador central do computador ordena que seja encontrado o endereço de um byte de informação, os decodificadores localizam as colunas e fileiras corretas. A operação completa leva menos de um milionésimo de segundo.



Um chip de memória e a ponta de um lápis estão colocados lado a lado, e aumentados 14 vezes. O retângulo vermelho revela as dimensões reais do chip.



Neste detalhe da parte central do chip, as células de memória ainda parecem simples manchas em seus quadrantes, a despeito de a imagem ter sido ampliada 70 vezes.

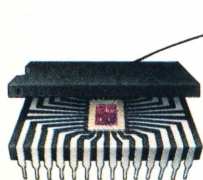


Os circuitos centrais nas faixas de decodificadores são agora claramente visíveis nesta imagem ampliada 300 vezes. As cores provêm da iluminação da foto.

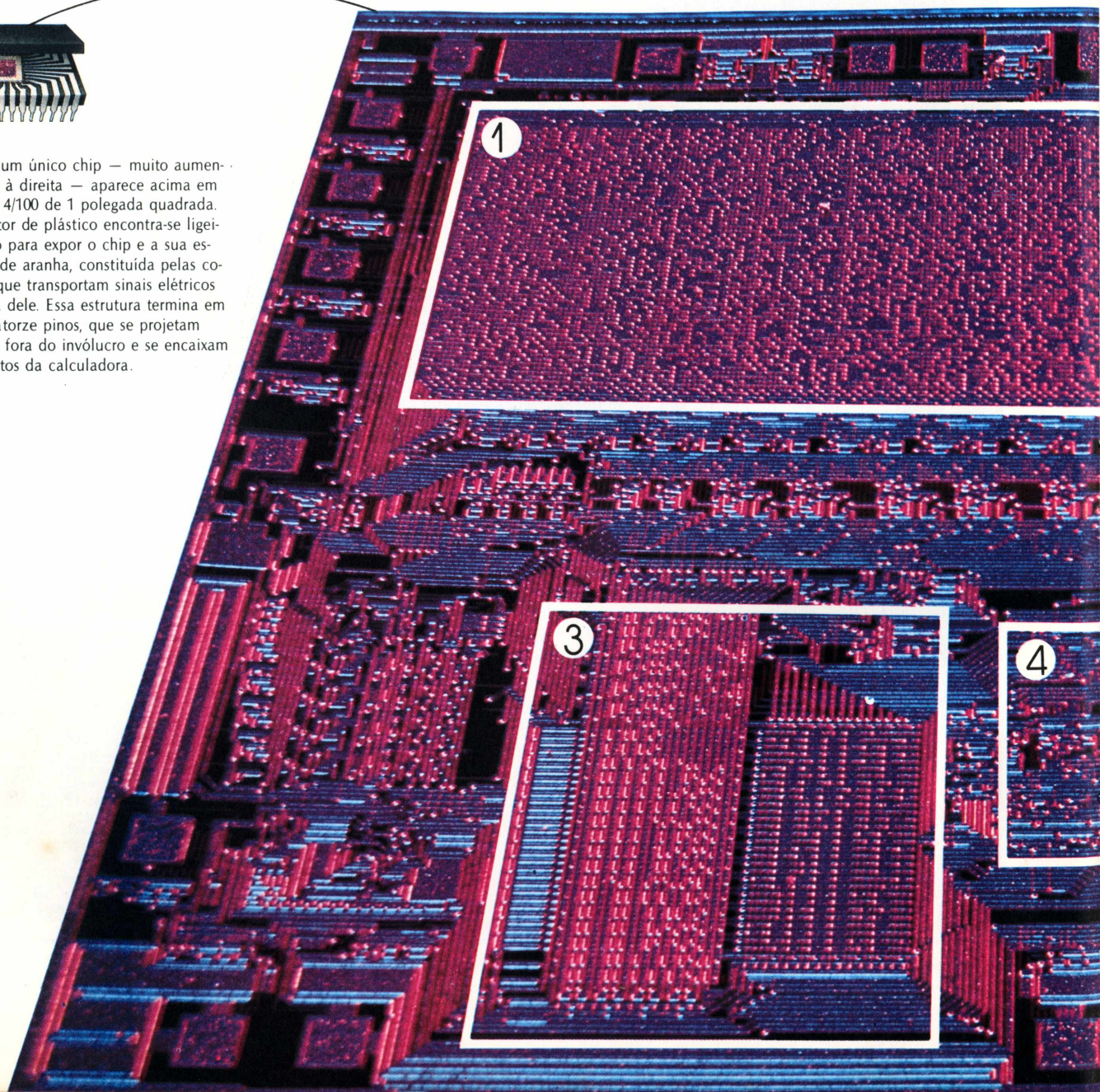
Um computador num único chip

Embora haja diversos tipos de chips, as funções especiais de todos eles podem combinar-se para criar um computador completo sobre um dispositivo único. O chip ilustrado abaixo é uma versão recente do TMS 1000, desenvolvido pela Texas Instruments entre 1971 e 1974. Pela sua notável compactação e preço baixo — custava apenas 6 dólares em 1975 —, este “computador num chip”, como é comumente chamado, ajudou a expandir as fronteiras da microeletrônica para aparelhos domésticos, telefones e toca-discos, entre outros.

A versão aqui ilustrada foi projetada para operar uma calculadora de bolso. Uma vistória em sua superfície revela funções que, exceto em dois casos, encontram-se usualmente em chips separados. A memória ROM (1) contém 1 024 bits de instruções armazenadas permanentemente para operar a calculadora. A RAM, memória para leitura e gravação (2), armazena 256 bits de dados necessários somente durante as operações. O decodificador de controle (3) decompõe em passos detalhados as instruções armazenadas em ROM, para serem operadas pela ALU (4), que executa os cálculos numéricos. O conjunto de circuitos do relógio (5) conecta o chip a um cristal de quartzo externo, cujas vibrações coordenam suas operações, mantendo tudo em cadência. O setor de entrada/saída (6) dirige as comunicações com dispositivos externos.



Um computador num único chip — muito aumentado na fotografia à direita — aparece acima em seu tamanho real: 4/100 de 1 polegada quadrada. O invólucro protetor de plástico encontra-se ligeiramente levantado para expor o chip e a sua estrutura em forma de aranha, constituída pelas conexões metálicas que transportam sinais elétricos para dentro e fora dele. Essa estrutura termina em duas fileiras de catorze pinos, que se projetam como pernas para fora do invólucro e se encaixam na placa de circuitos da calculadora.



Divisões de trabalho

Um típico computador para uso doméstico contém pelo menos meia dúzia de diferentes circuitos integrados (CI). São estes os tipos principais:

Um CI de relógio monitora o pulso regular a partir de uma lâmina de cristal de quartzo que é estimulada eletricamente, sincronizando os milhões de operações que ocorrem numa fração de segundo.

CI's de interface traduzem os sinais que chegam, tais como a pressão dos dedos do usuário sobre o teclado, para a linguagem binária do liga-desliga. Também convertem os sinais que saem em dados

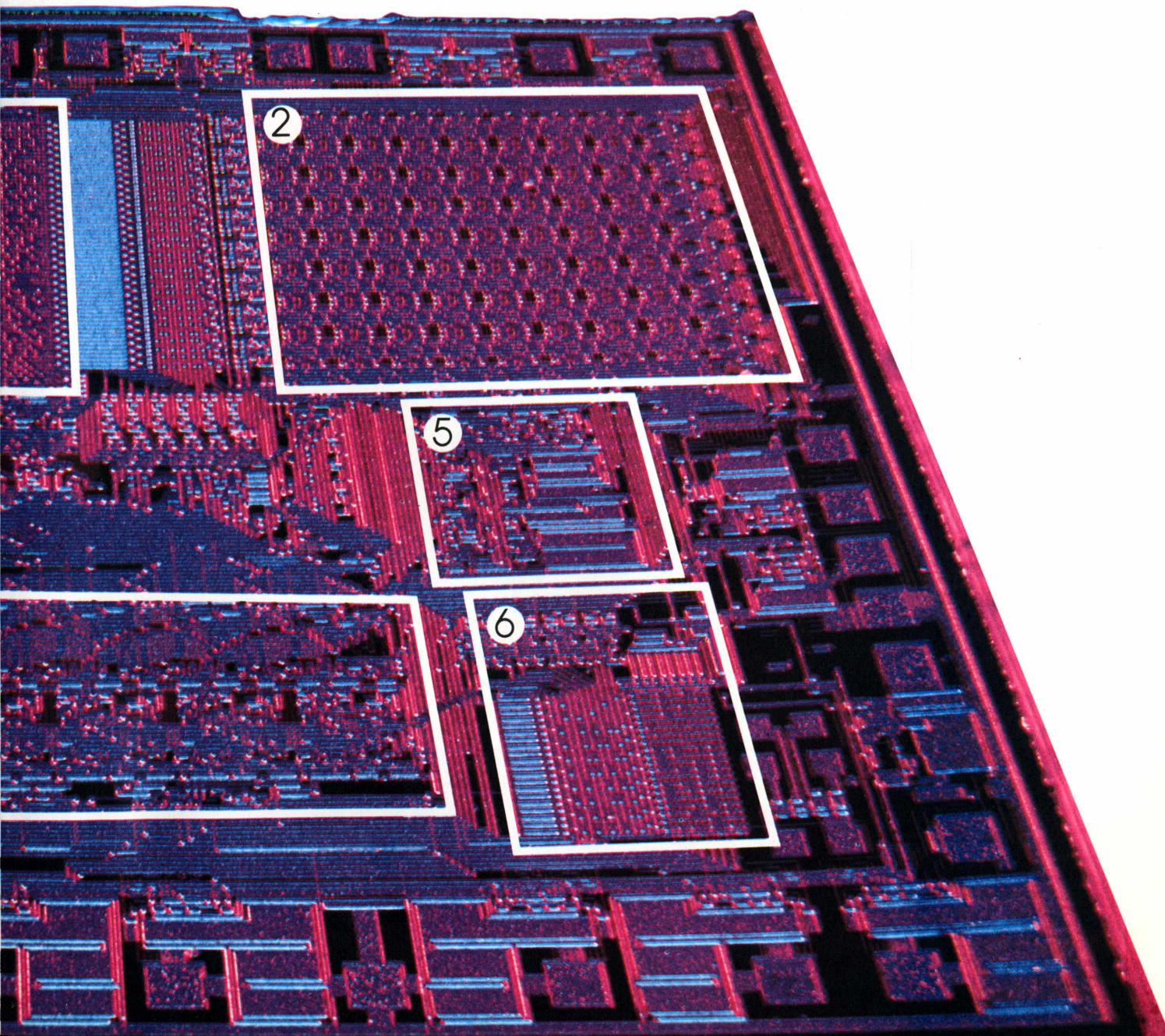
e são exibidos na tela do computador.

O CI microprocessador — o centro nervoso do computador — age sobre as instruções enviadas por programas armazenados nos CI's de memória, para executar todos os cálculos e decisões lógicas necessários ao processamento das informações. Esse trabalho é feito principalmente na unidade de lógica aritmética.

CI's ROM (memória somente para leitura) mantêm instruções permanentes para o microprocessador. Como são impressos no chip durante a fabricação, esses programas podem ser lidos, mas nunca alterados.

CI's PROM (memória somente para leitura programável) fornecem vários meios de atualizar ou alterar instruções que normalmente ficam armazenadas na ROM. Um tipo de PROM pode ser alterado por luz ultravioleta (EPROM); um outro, por sinais elétricos (EAPROM).

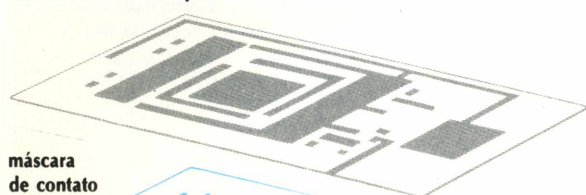
CI's RAM (memória para leitura e gravação) somente armazenam dados enquanto o microprocessador necessita deles para uma determinada operação. Novos dados que entrem nas células da RAM automaticamente apagam os que lá se encontravam. O ato de desligar o computador também apaga tudo o que estiver na RAM.



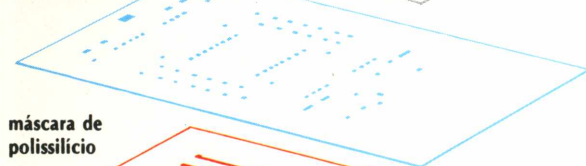
Planejamento de um chip

O planejamento de um chip exige extraordinária habilidade e paciência. Como o chip é fabricado camada por camada, seus circuitos devem ser concebidos de maneira semelhante, uma fileira de cada vez. Pelo fato de o tamanho do chip não atingir às vezes a quarta parte de uma polegada quadrada, os desenhos são feitos em escala dezenas de milhares de vezes maior, depois fotograficamente reduzidos até o tamanho pretendido. Reproduz-se o padrão redu-

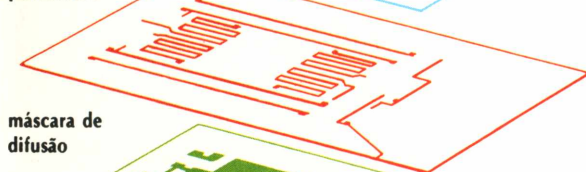
máscara de metalização



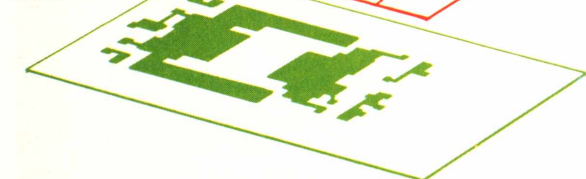
máscara de contato



máscara de polissilício

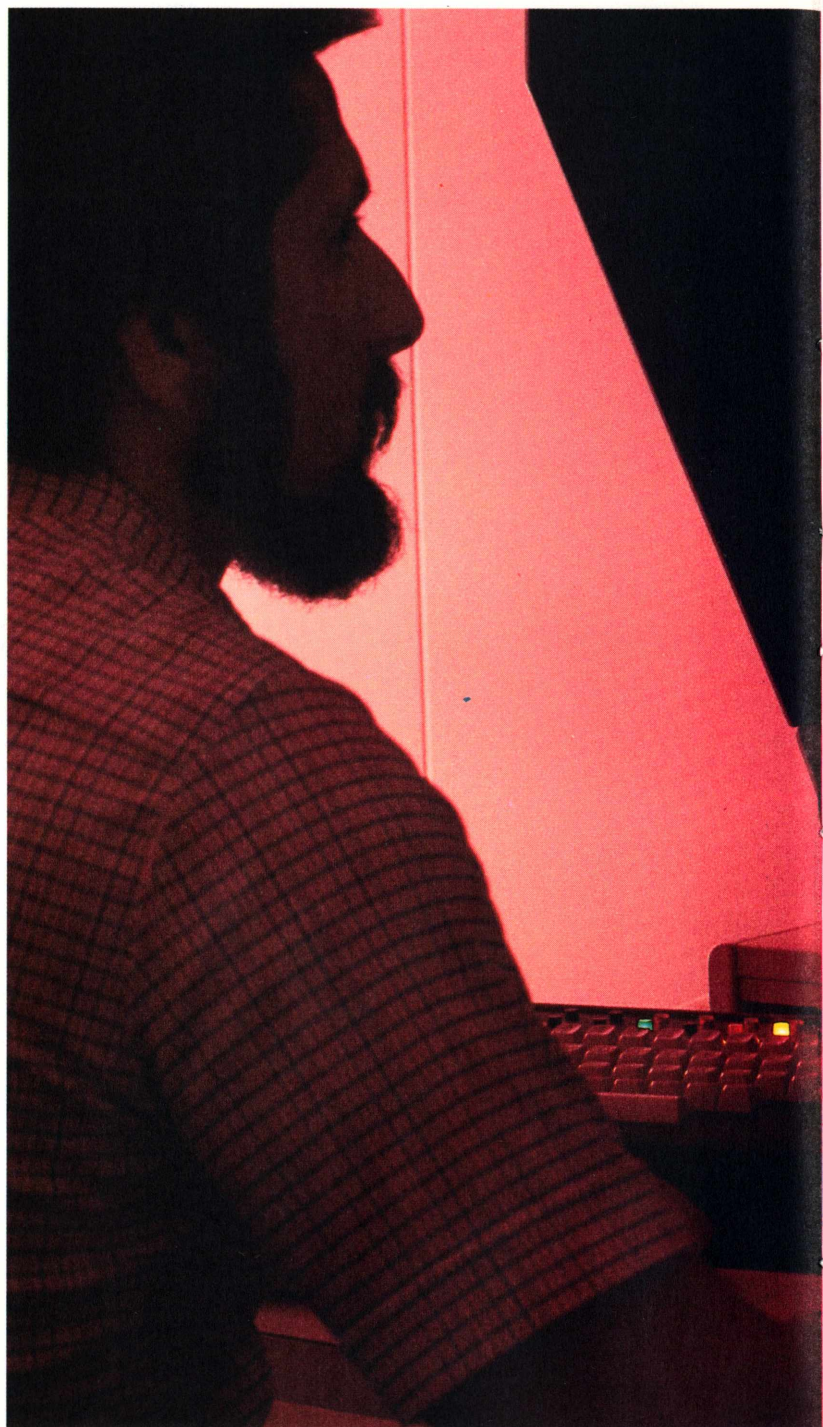


máscara de difusão



A fotomáscara ilustrada acima produzirá um simples chip de quatro camadas para um circuito de amplificador. Aplicadas uma por vez, essas máscaras permitem que a luz ultravioleta imprima no chip os quatro padrões separados. Começando com a máscara de baixo, os padrões são usados para: tratar o chip com impurezas para promover a condutividade; depositar uma camada de polissilício para conduzir a corrente de sinal; gravar, com ácido, orifícios para os contatos metálicos; e finalmente, preenchê-los com metal e cauterizar o excesso, de modo a deixar trilhas metálicas que servirão como conectores.

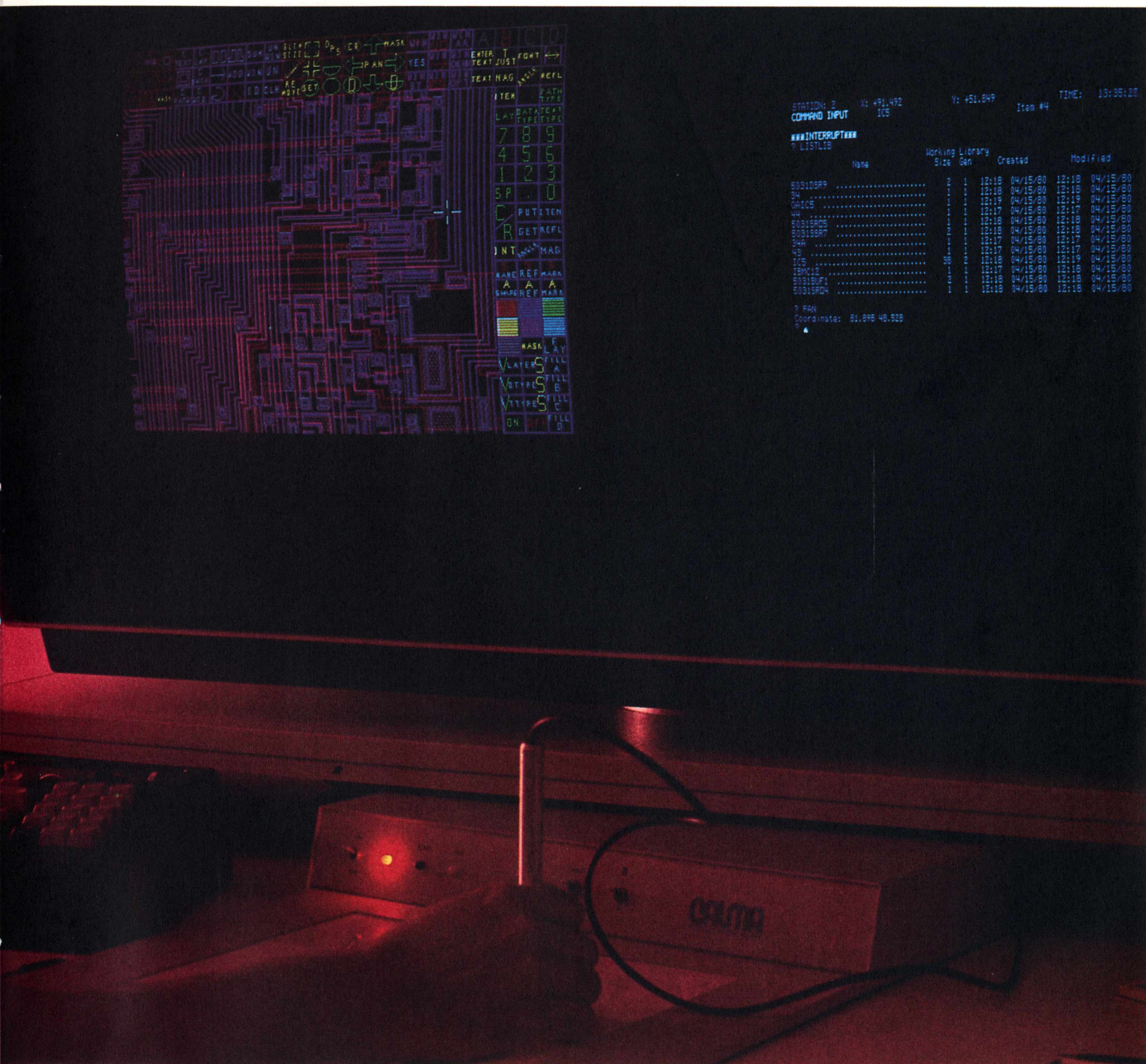
Sentado em frente a seu computador, um projetista estuda duas camadas de um sistema de circuitos, um sobreposto ao outro. Ele enfrenta um duplo desafio: descobrir as rotações mais eficientes para conectar todos os circuitos e depois comprimir tudo isso dentro da menor área possível. A caneta eletrônica capacita-o a arrancar os padrões de circuitos numa almofada de toque e vê-los exibidos instantaneamente na tela. O computador registra cada componente e sua exata localização.



zido para cada camada numa chapa de vidro, para criar uma fotomáscara que atua como um negativo fotográfico e permite à luz imprimir o padrão sobre o chip. Esse padrão define as áreas que serão revestidas quimicamente, ou dopadas com impurezas, e, ainda, as que receberão conectores metálicos.

Para se conseguir uma produção em massa, o padrão de cada camada é repetido centenas de vezes numa chapa de vi-

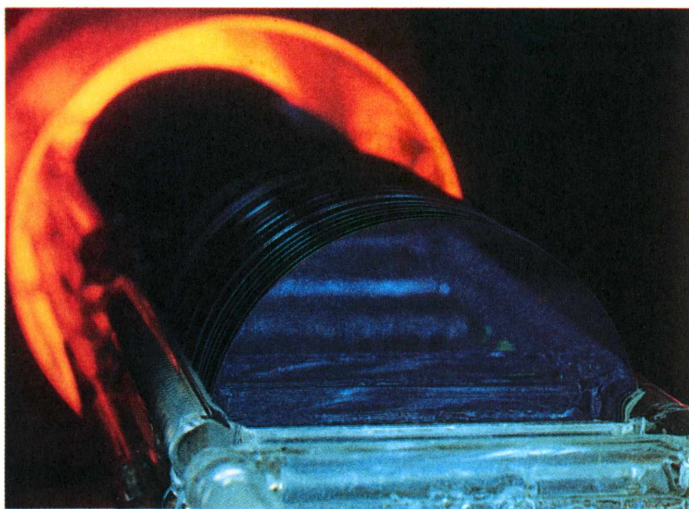
dro. As fotomáscaras são, a seguir, aplicadas numa única pastilha de silício. Para projetar um chip simples, como aquele que resultaria das máscaras à esquerda, é necessária uma pequena equipe de engenheiros trabalhando apenas algumas semanas. Mas a elaboração dos desenhos mais complexos, que incorporam centenas de milhares de componentes eletrônicos, pode levar mais de um ano do trabalho de muitos especialistas.



Obras-primas de miniaturização



Mais de 1 milhão de chips podem ser feitos com um lingote de silício cristalino de cerca de 70 centímetros de comprimento e 6 polegadas de diâmetro (à esquerda). Embora o silício seja cinzento e fosco, a superfície vítrea do lingote reflete o azul do fundo.



Bolachas de apenas 4/1 000 de polegada de espessura emergem do forno esterilizadas e polidas, sem as asperezas deixadas pela serra de diamante que cortou o lingote em fatias.

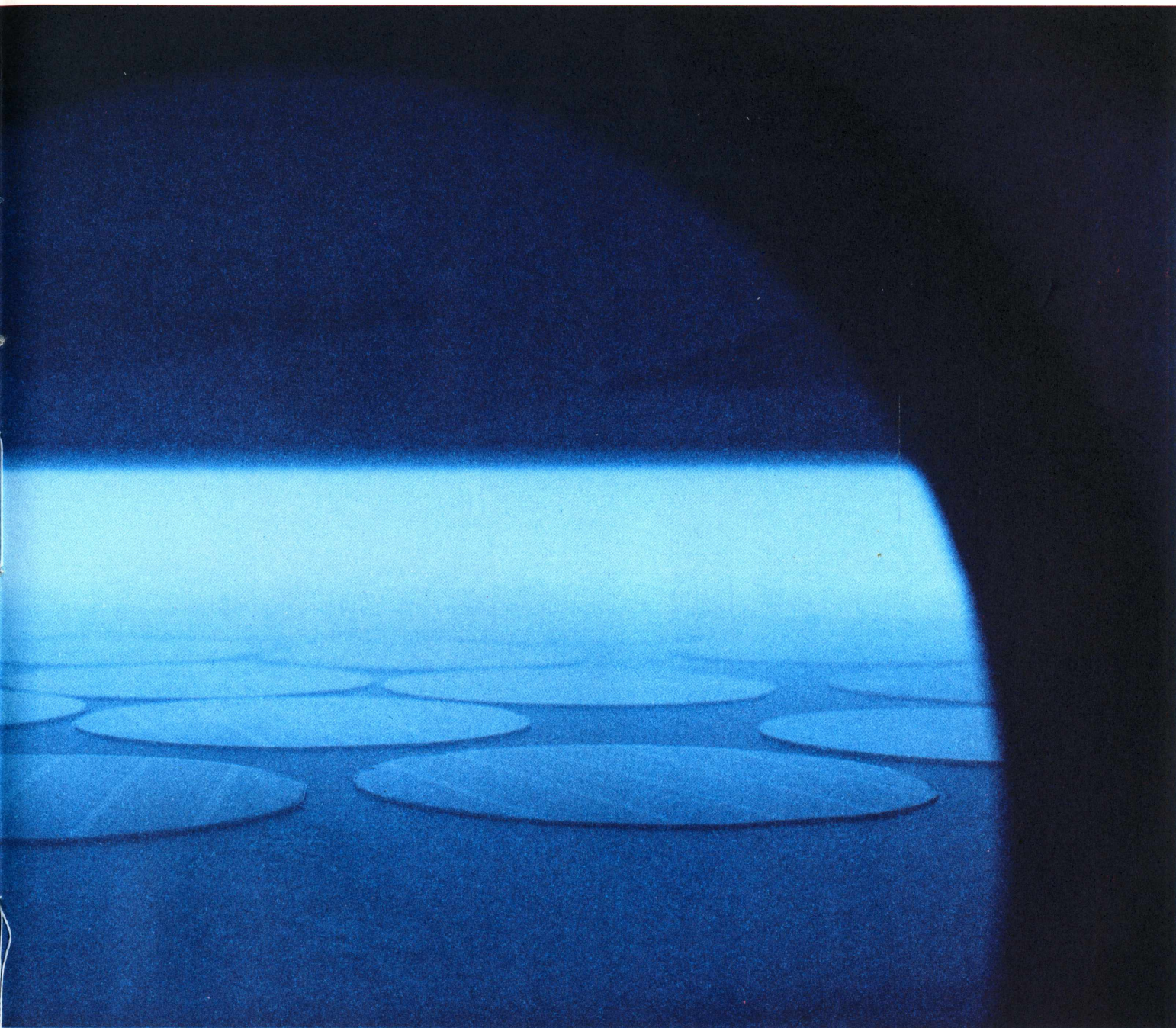
Vistas através da janela de uma câmara de difusão, as bolachas são dopadas com íons de fósforo, gasosos e quentes, que criam “mananciais” negativos — do tipo n — no substrato de silício.

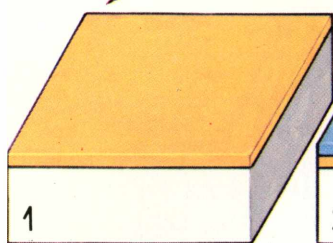


Do lingote à bolacha

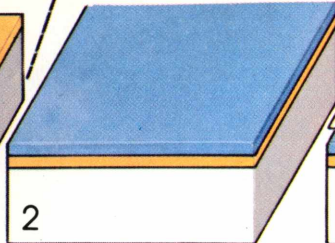
O local onde são fabricados os chips assemelha-se mais a um hospital que a uma fábrica. Trata-se de verdadeiros "quartos anti-sépticos", lugares de esterilidade quase absoluta, onde o ar é purificado por máquinas especiais que filtram todas as partículas estranhas. Até os lápis são banidos, para evitar que partículas de grafite fiquem suspensas no ar. Uma só partícula de poeira pode arruinar um chip. O silício, refinado a partir

da areia comum, é fundido e transformado em lingotes (*no alto, à esquerda*) com 99,99999999% de pureza, por meio de um processo assemelhado ao gotejar de uma vela. As bolachas, obtidas pelo corte do lingote em fatias, são levadas ao forno para esterilização de suas superfícies (*embaixo, à esquerda*). A única contaminação permitida é a dopagem do silício com impurezas, que o capacita a transportar corrente elétrica (*abaixo*).

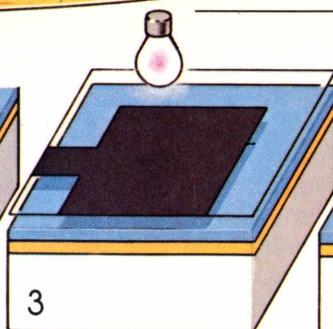




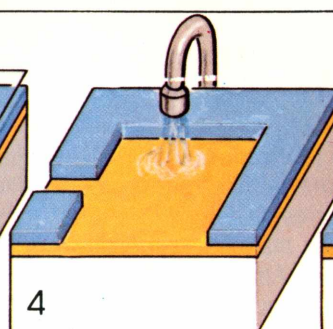
1
O substrato de silício para a formação do transistor, positivamente dopado, recebe um revestimento isolante de dióxido de silício (amarelo) num forno gasoso.



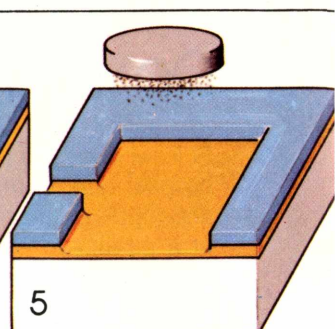
2
Uma camada de elemento fotorresistivo (azul), emulsão sensível apenas à luz ultravioleta, prepara a superfície para a primeira fotomáscara.



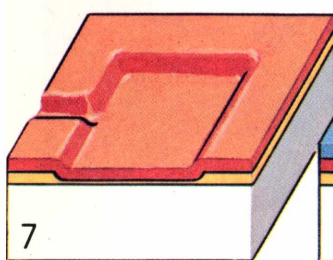
3
A luz, brilhando através de uma fotomáscara, endurece a área exposta; as áreas blindadas pela parte opaca da máscara (preta) permanecem macias.



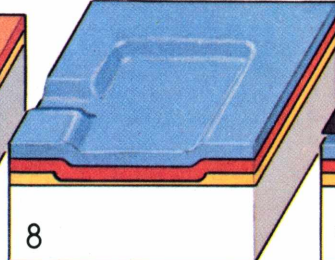
4
Um solvente elimina o elemento fotorresistivo que não ficou exposto, deixando intacto o dióxido de silício subjacente (amarelo) e mostrando um "alto relevo" (azul).



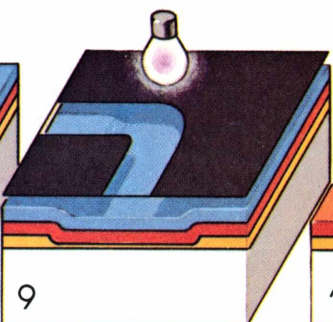
5
A camada mais alta de dióxido de silício é desgastada por gases quentes, que deixam uma camada ultrafina para isolamento.



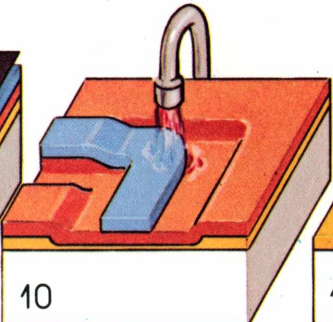
7
Uma camada de polissilício (laranja) é depositada sobre toda a superfície. Esse silício sintético servirá como porta do transistor n-MOS para transmitir a carga do sinal.



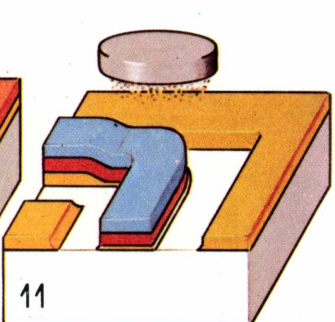
8
Uma película de elemento fotorresistivo (azul) recobre o polissilício, preparando a superfície para a segunda fotomáscara.



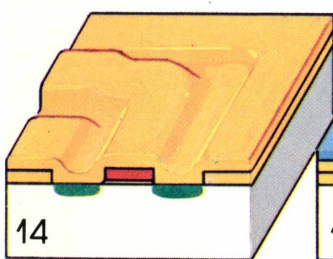
9
A luz endurece um padrão em forma de L, ao mesmo tempo que a máscara blinda (preto) o restante da superfície do transistor.



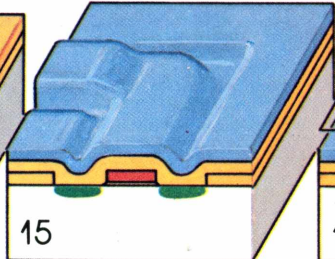
10
A substância fotorresistiva não-exposta é retirada pelo solvente que deixa o padrão em forma de L do elemento resistivo endurecido.



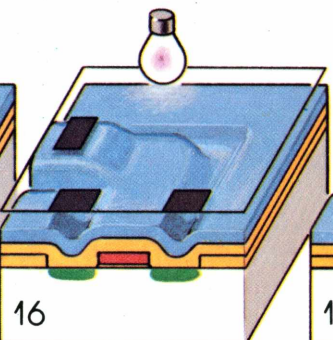
11
O ataque químico remove o polissilício exposto (laranja) e uma camada muito fina de dióxido de silício, expondo o substrato de silício.



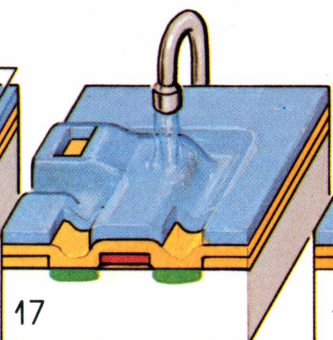
14
No terceiro estágio, uma nova camada de dióxido de silício (amarelo) isola a estrutura da base do transistor dos contatos metálicos que serão acrescentados.



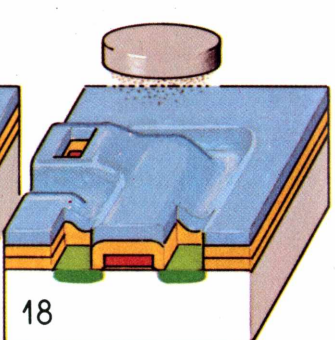
15
Uma película de substância fotorresistiva prepara o estágio para a formação de poços verticais que abrigarão contatos metálicos para o polissilício e os canais.



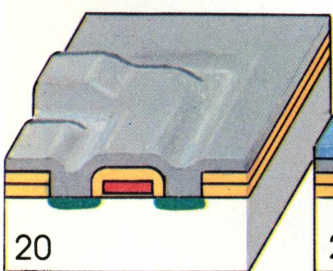
16
A luz brilha através de uma fotomáscara, endurecendo o elemento resistivo, exceto nas áreas dos poços (preto).



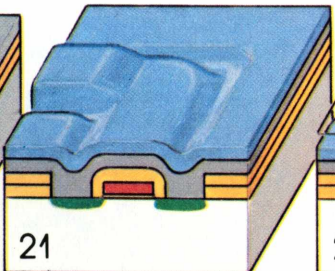
17
A lavagem das áreas macias do elemento resistivo deixa expostas três nódoas de dióxido de silício (amarelo) que marcam a posição dos poços.



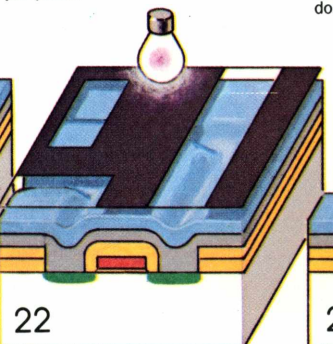
18
O ácido remove as nódoas, abrindo dois poços até as áreas de tipo n do silício (verde) e um poço até o polissilício (laranja).



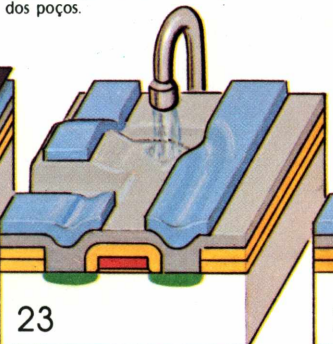
20
A fina camada de alumínio (cinza) estende-se sobre a superfície, para fornecer os contatos elétricos.



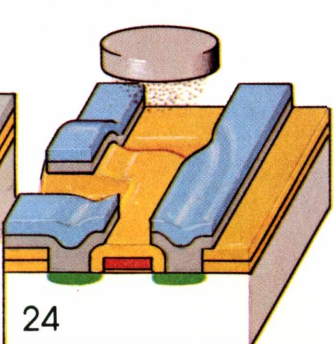
21
O elemento fotorresistivo prepara o transistor para receber sua fotomáscara final, da "fiação" de alumínio.



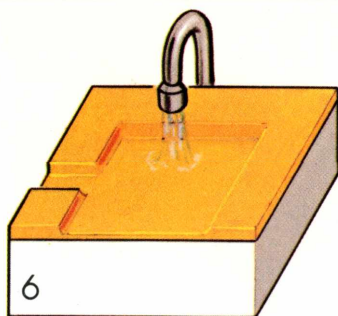
22
A luz que atravessa uma fotomáscara de metalização endurece o elemento resistivo sobre o alumínio.



23
Um solvente elimina as partes macias do elemento resistivo, expondo regiões onde há excesso de metal, que serão removidas a seguir.

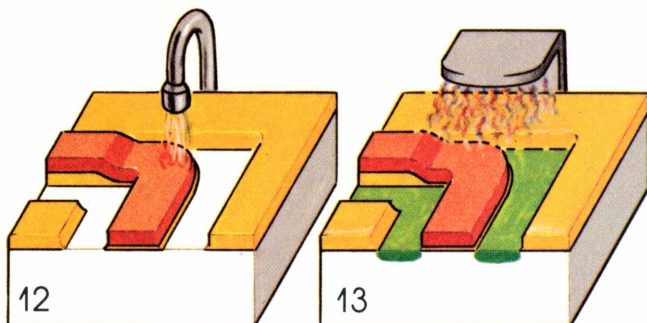


24
Um banho químico final deixa somente as áreas de metal necessárias para contatos, nos poços, e conectores, na superfície.



6

Uma lavagem química remove então o elemento fotorresistivo endurecido (azul), revelando uma superfície de dióxido de silício.

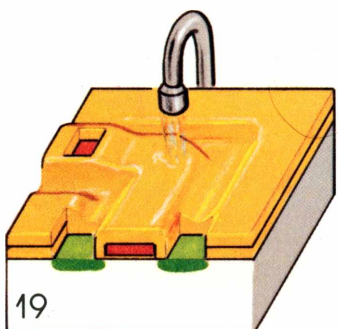


12

Quando o restante do elemento resistivo é removido, uma saliência de polisilício — a porta — eleva-se acima dos canais de silício.

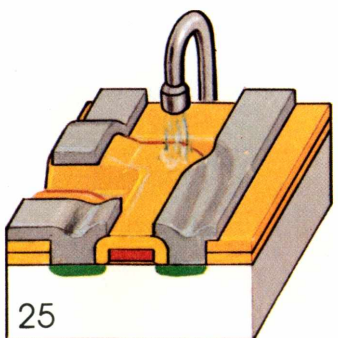
13

A dopagem implanta fósforo nos canais, criando áreas negativamente carregadas (verde) no silício positivamente dopado.



19

O restante do material resistivo é lavado e iluminado. As duas áreas dopadas (verde) servirão como fonte e dreno do transmissor n-MOS.



25

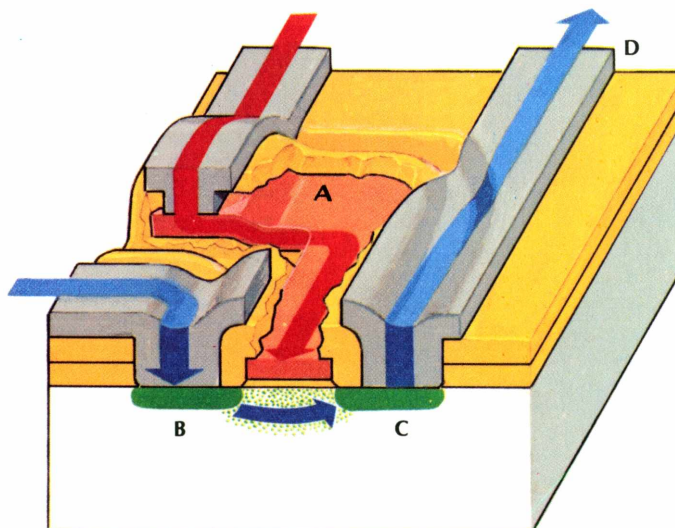
A última porção de elemento resistivo é eliminada e o transistor está pronto.

A criação de um transistor

Os desenhos à esquerda ilustram, de forma simplificada, as etapas da fabricação de um chip de transistor. No processo real, que é imensamente complexo e pode demorar até dois meses, várias centenas de chips são fabricados simultaneamente numa bolacha de silício, como a desenhada no alto da página ao lado. Aqui, no entanto, um único transistor — uma minúscula parte de um chip — foi ampliado cerca de 2 500 vezes para exemplificar o processo que ocorre com os milhões de partes e conexões que são produzidas ao mesmo tempo.

O processo, chamado fotolitografia, começa com a “dopagem” de uma tira de silício com 4/1 000 de polegada de espessura — neste exemplo, o boro, que cria “buracos”, áreas de deficiência de elétrons que agem como transportadoras de cargas positivas. Em cada um dos quatro estágios básicos de fabricação (aqui representados pelas quatro fileiras de imagens), esse substrato de silício do tipo p está revestido com uma fina película de emulsão fotossensitiva e depois exposto a padrões de luz ultravioleta projetada através de uma máscara. Várias seqüências de ataque com ácidos, dopagem, revestimento químico e deposição de metal criam quatro camadas, cada uma com aproximadamente 1/100 de espessura do próprio chip.

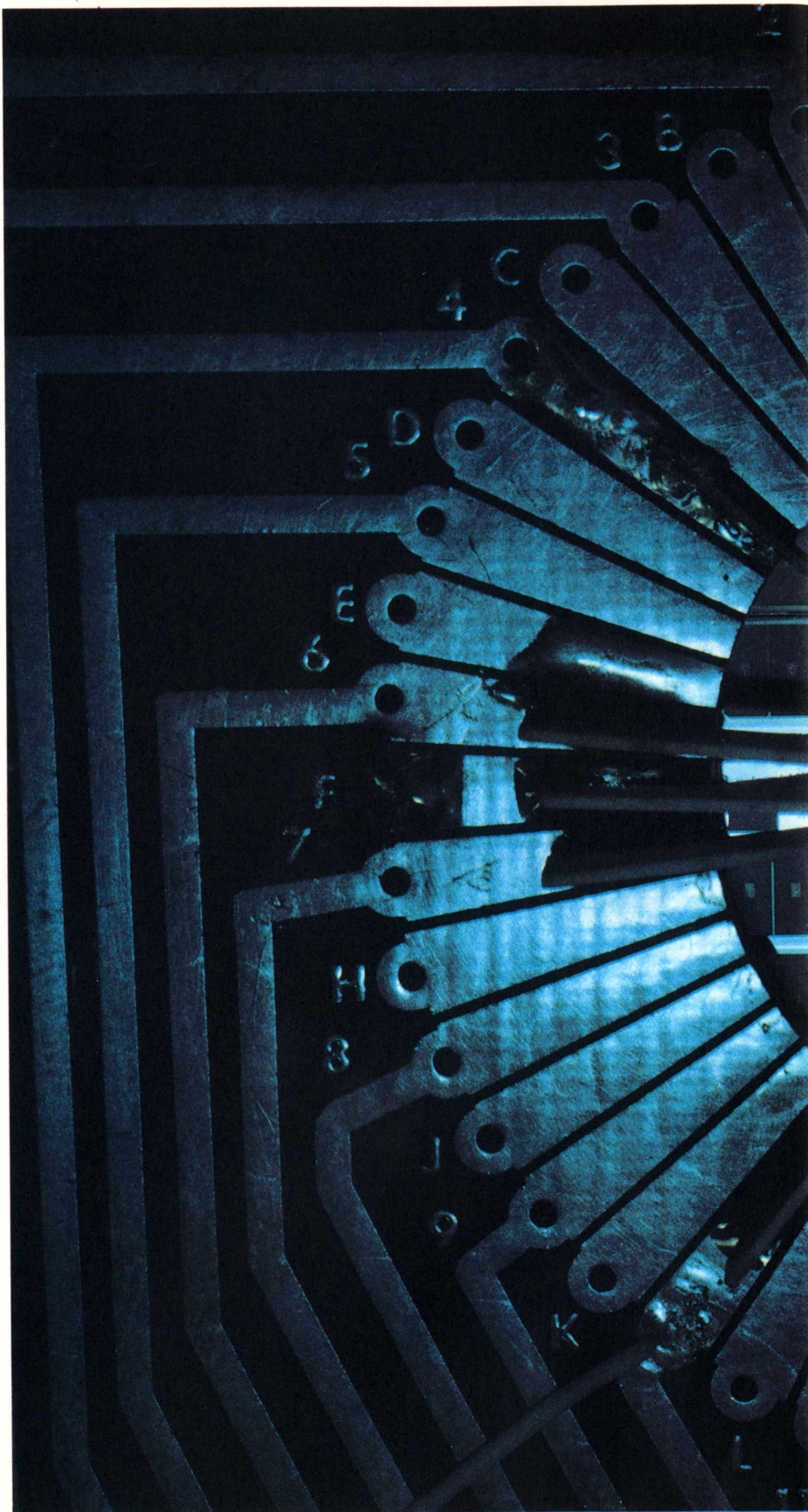
O transistor completo (*embaixo*) pertence ao tipo denominado n-MOS, isto é, semicondutor de óxido metálico de canal negativo. Consumindo menos energia e gerando menos calor que sua variante positiva, ele é usado nos casos que requerem o abarrotamento de milhares de componentes num único chip.

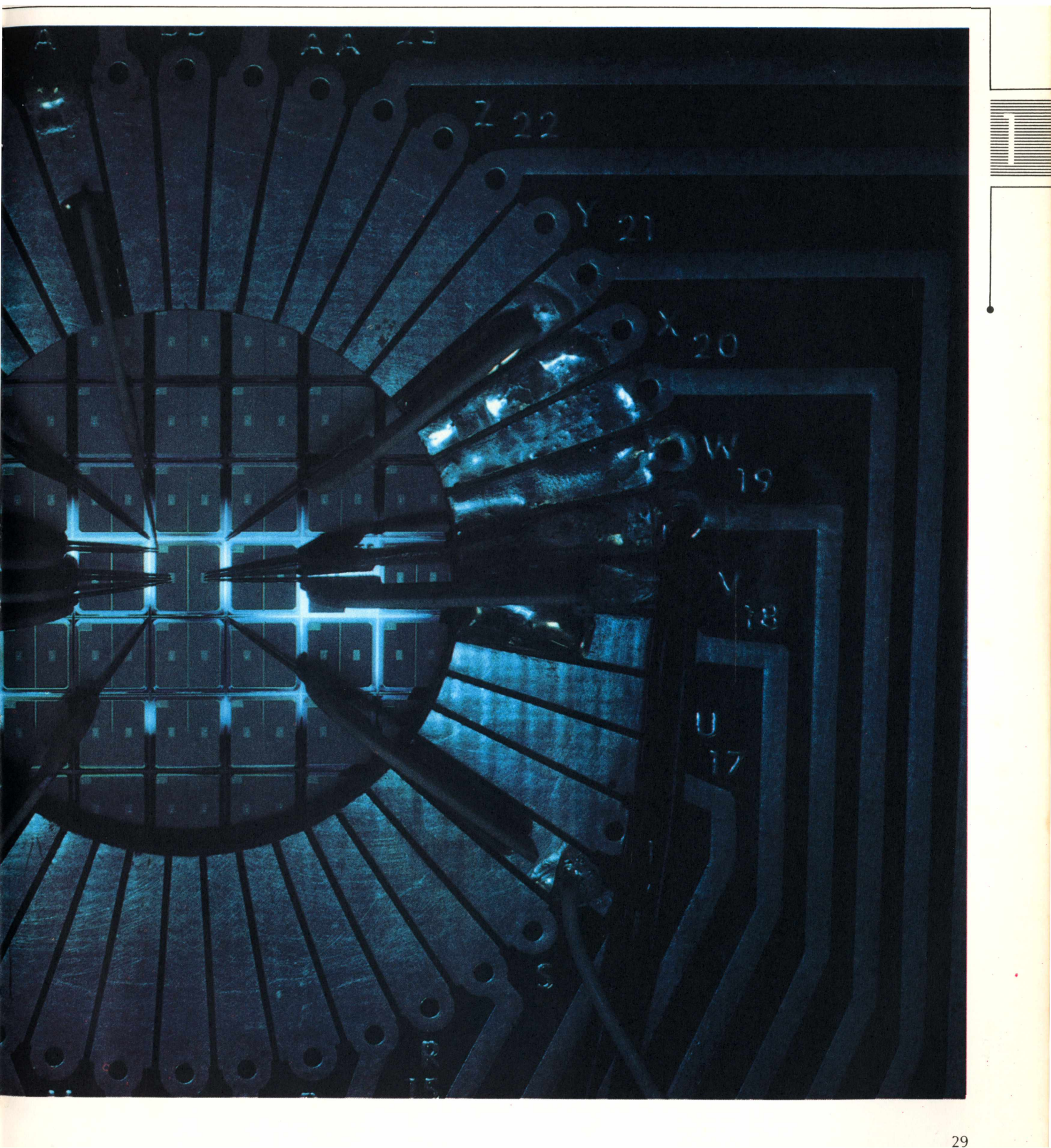


Como funciona o produto acabado

Esta vista esquemática ilustra como opera o transistor completo, quando funciona como interruptor. Se nenhuma carga é aplicada à porta de polisilício (A), nenhuma corrente pode fluir da fonte de tipo n (B) para o dreno de tipo n (C). Mas uma carga positiva (seta vermelha), aplicada à porta, age através de uma camada isolante ultrafina de dióxido de silício (amarelo) para criar um canal temporário de tipo n, e “ligar a chave”. A corrente (seta azul), oriunda da fonte, pode agora fluir para o dreno, saindo através do conector de alumínio (D) rumo a outras partes do circuito.

Chips recém-fabricados — ainda presos às bolachas sobre as quais foram construídos (centro) — são explorados por delgadas sondas computadorizadas. Cerca de 70% dos chips são reprovados neste primeiro e rígido teste, devido a falhas de fabricação ou defeitos estruturais no próprio silício. Chips defeituosos são marcados e descartados logo após o corte que os separa da bolacha.







A idade de ouro do empresariado

2

Entre 1975 e 1981, a tecnologia dos computadores mudou tão profundamente que esses poucos anos constituem um divisor de águas não somente na história desse instrumento como também na da cultura moderna como um todo. Graças ao chip de silício, o computador, antes com dimensões de uma sala, diminuiu muito de tamanho, e no custo, tornando-se, assim, mais comparável ao coelho que ao elefante; em consequência, passou a multiplicar e expandir seus limites. Ao lado dessa metamorfose verificaram-se importantes mudanças nas atitudes e expectativas das pessoas que lidavam com essas máquinas.

Em 1975, o projeto de um computador pessoal — que uma pessoa, em vez de uma grande organização, pudesse possuir e operar — era alimentado por poucos. Um fabricante que tencionasse vender pelo correio oitocentos kits “faça seu próprio computador” seria considerado absurdamente otimista pelo departamento financeiro de sua firma, que recomendaria, talvez, apenas 1/4 dessas unidades. Seis anos mais tarde, porém, a perspectiva para os pequenos computadores alterou-se completamente. Patrimônios de centenas de milhões de dólares foram formados em pouco tempo, por grupos de jovens e brilhantes fabricantes de microcomputadores. Um deles surpreendeu a comunidade financeira quando sua empresa galgou, mais rapidamente que qualquer outra, às alturas da *Fortune 500* — uma lista das maiores companhias dos Estados Unidos —, em sua primeira meia década de existência.

Nascido da parceria privada, quase sem recursos, de dois jovens rapazes que abandonaram o colégio e montavam máquinas numa garagem na Califórnia, o computador Apple progrediu para uma corporação cujo valor no mercado excedia a casa de 1 bilhão de dólares. Em 1981 suas vendas atingiram a marca de 1 milhão de unidades, tornando-o um equipamento familiar em salas de aula, escritórios comerciais e residências. Simultaneamente, as lojas especializadas em computadores ampliaram-se de modo impressionante, o mesmo ocorrendo com as publicações da área. A indústria de micros tornou-se tão grande e lucrativa que passou à frente da IBM, cauteloso gigante cujas máquinas tinham, até então, dominado o mercado de computadores de grande porte. Em 1981, essa empresa conheceu a importância técnica, econômica e cultural do microcomputador, anunciando sua intenção de começar a fabricar seu próprio computador de escrivaninha.

Esse crescimento assombroso conta uma história de magia técnica, visão utópica e ousadia comercial. É a história de uma comunidade de *hackers* — nome através do qual os entusiastas do assunto se autodenominam —, onde cada membro desejava possuir sua própria máquina. Sonhadores, que viam na revolução do computador a força de transformação mundial, aspiração que fora perseguida tam-

Reivindicando seus próprios computadores pessoais — os Altair —, os cidadãos comuns inauguram uma nova era de liberdade na computação, contra um *background* de cartões perfurados, fitas magnéticas e papel de saída impressa. Esta imitação da Arte Socialista — conclamada pelo fabricante do Altair — era a chamada de capa da revista *Interface* para a matéria “The People Computers”, da edição de dezembro de 1975.

bém através da política, das drogas, das comunas ou da espiritualidade durante os anos 60 e início da década de 70, e pessoas ousadas e ambiciosas, dispostas a correr riscos, acreditaram que os sonhos dos *hackers* e dos revolucionários podia tornar-se realidade, uma realidade capaz de enriquecer não só a seus integrantes mas a sociedade como um todo.

O maior estímulo para o desenvolvimento da computação pessoal talvez fosse, ao lado do deslumbramento, um grande ressentimento, inspirado pelo que ocorria com os primeiros grandes computadores. Aqueles hipopótamos eletrônicos realizavam feitos maravilhosos, mas, em virtude de seu enorme custo e de sua fragilidade, só podiam funcionar em ambiente cuidadosamente controlado, um mundo inacessível a muita gente, exceto a uns poucos escolhidos. Isoladas em salas com instalações especiais de ar condicionado e assistidas por uma elite de técnicos, as máquinas da primeira e segunda geração eram fonte de profundas frustrações para muitos. Estudantes obcecados por elas, em instituições como a Universidade de Stanford e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), ansiosos por acesso direto ao objeto de seu desejo, viam-se forçados a trabalhar através de intermediários, manipulando programas codificados em lotes de cartões perfurados, e depois esperar durante horas, e muitas vezes dias, pelos resultados. Assim como fotógrafos barrados à porta do quarto escuro ou mecânicos proibidos de olhar debaixo do capô dos carros, eles se sentiam igualmente logrados.

Os minicomputadores, uma nova classe de máquinas surgida em meados da década de 60, alterou muito pouco esse quadro. Embora menores e menos dispendiosos que seus predecessores, os minis ainda eram grandes e caros. A maioria dos primeiros minis ostentava preços altíssimos, e seu tamanho era grande o suficiente para ocupar completamente um quarto pequeno. Não resta dúvida de que representaram um importante passo à frente, mas não, ainda, a derrota da elite ou a possibilidade de transferência de controle do computador para as mãos de pessoas comuns. Somente o microcomputador — o computador pessoal — realizaria essa façanha.

No entanto, foi necessária uma longa espera até o advento do micro. Assim como vários improvisadores testaram projetos de carruagens sem cavalos antes de Henry Ford entrar no negócio de automóveis, e muitos pretensos aviadores experimentaram máquinas voadoras antes que Santos Dumont realizasse seu vôo com o 14-Bis, havia centenas de técnicos em eletrônica construindo suas próprias máquinas de computação, ainda primitivas, antes que o primeiro computador pessoal comercialmente bem-sucedido fizesse sua estréia. Em 1966, Stephen B. Gray, editor da revista *Electronics*, anunciou a formação de algo que se chamava Sociedade dos Amadores de Computadores, atraindo inicialmente 110 membros. Muitos eram engenheiros que trabalhavam com os computadores de seus patrões e, nas horas vagas, construíam com esmero, em garagens e oficinas domésticas, aparelhos para uso pessoal. Mas se passaram ainda oito anos antes que os avanços na tecnologia do microprocessador possibilitassem que um produto comercial atingisse o mercado.

A nova máquina, produto do trabalho de uma firma em Connecticut chamada Scelbi (isto é, científica, eletrônica e biológica) Computer Consulting, foi anunciada na edição de março de 1974 da *QST*, uma revista de radioamadorismo. Apenas quatro meses depois, o Scelbi-8H, como foi chamado, defrontou-se com sua primeira rival — a *Radio Electronics*, revista especializada em eletrônica, publicou

um artigo sobre a construção de uma máquina chamada Mark-8. Tanto o Scelbi-8H como o Mark-8 baseavam-se no chip microprocessador 8008 da Intel. A despeito do clima de excitação que se criou entre os aficionados por equipamentos eletrônicos da época, ambos apenas serviram para anunciar a iminência do evento principal.

Esse evento se deu quando a edição de janeiro de 1975 da revista *Popular Electronics* (atualmente *Computers & Electronics*) chegou às bancas. Sua capa ostentava a figura de uma máquina anunciada como “Primeiro Kit de Minicomputador do Mundo a Rivalizar com os Modelos Comerciais”. O kit era oferecido por 397 dólares, e uma versão completamente montada da máquina custava 498 dólares. “O que queríamos para nossos leitores”, escrevia o editor da revista, “era um minicomputador cujas capacidades pudessem equiparar-se às das unidades correntemente disponíveis, porém a uma fração do custo.”

O ALTAIR DE ALBUQUERQUE

Batizada com o nome de Altair 8800, a máquina construída com base no Intel 8080, um descendente mais poderoso do 8008, constituiu o primeiro grande sucesso daquela que logo se tornaria uma indústria multibilionária. À semelhança do Scelbi-8H e do Mark-8, o Altair não nasceu no Vale do Silício, região do oeste da Califórnia, entre San Francisco e San José, que se tornaria quase sinônimo da indústria de semicondutores nos Estados Unidos. Tampouco nasceu em Cambridge, Massachusetts, berço dos mundialmente renomados cientistas em computação de Harvard e do MIT. Proveio de uma cidade que, em termos de computação, equivale a lugar nenhum — Albuquerque, Novo México — e seu criador foi um jovem oficial da Força Aérea, graduado em engenharia elétrica.

Designado para o Weapons Laboratory, da Base Kirtland da Força Aérea, o tenente H. Edward Roberts ocupava seu tempo livre procurando uma companhia que, esperava, lhe permitisse obter lucros da fascinação que sempre sentira por dispositivos eletrônicos. Roberts construiu seu primeiro computador — um mecanismo composto de relés comuns e de interruptores que controlavam a válvula de uma máquina que simulava o sistema coração-pulmão — quando ainda adolescente. No início de sua carreira militar, instalado no Texas, arrumara “trabalho” como proprietário e único empregado da Reliance Engineering, companhia que executava serviços tais como planejar os equipamentos de controle de uma animada vitrina montada para o Natal, em San Antonio. Após sua transferência para Albuquerque, Roberts reuniu-se com três companheiros para fundar uma nova companhia, cujos primeiros produtos seriam, por exemplo, sistemas luminosos transistorizados e radiotransmissores, vendidos pelo correio a entusiastas por equipamentos para foguetes. Deram corpo à nova aventura em 1969, e nomearam-na Micro Instrumentation and Telemetry Systems, esperando que a sigla MITS pudesse conferir à firma algo da aura de respeitabilidade científica desfrutada pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), a quase 2 000 milhas dali.

O MITS não obteve sucesso econômico com sua linha de modelos de engrenagens de foguetes, ou com os produtos que passaria a vender mais tarde: um aparelho para comunicação fônica por meio de luz infravermelha e um kit de laser. Mas essas primeiras tentativas não foram perdas totais. O kit de comunicação fônica apareceu na capa da *Popular Electronics*, que trazia um artigo sobre ele — pago pela revista e escrito pelos próprios planejadores. Forrest Mims, um dos fun-

dadores do MITS e aspirante a escritor *free lancer*, cultivava as relações entre a empresa, que ensaiava seus primeiros vôos, e a revista; assim, os projetos do MITS eram divulgados com certa regularidade.

Em 1971, o MITS finalmente topou com sua “mina de ouro”: um kit de calculadora eletrônica que gerou outro artigo de capa da *PE*. Este não era um projeto simples: requeria três placas de circuito impresso, um pequeno teclado numérico e uma saída digital de leitura proporcionada por um visor a válvulas eletroluminiscentes construídas no Japão. Foi o primeiro kit de calculadora integrada produzido em grande escala nos Estados Unidos, e era vendido por apenas 179 dólares (montado, custava 275 dólares). Obteve tanto sucesso comercial que, em maio de 1972, Ed Roberts deixava a Força Aérea para dedicar-se exclusivamente aos negócios da empresa. Novos projetos vieram, destinados, em sua maioria, aos cultivadores de hobbies.

Em 1973, o MITS começou a vender, por atacado (em lotes de 5 000 unidades por mês), calculadoras já montadas para uma empresa a varejo. Porém, mais ou menos nessa época, fabricantes maiores também entraram no mercado, oferecendo calculadoras a preços reduzidos. Com isso, o MITS não foi bem-sucedido co-

Mais poder, menos volume

A década de 50 assistiu ao início de duas tendências. O mercado para computadores ampliava-se à medida que seu uso se expandia, enquanto as máquinas diminuam de tamanho. A memória magnética, os transistores e os circuitos integrados tornaram possíveis os primeiros microcomputadores, em meados da década

de 60. Mais uma década transcorreu para se chegar ao microcomputador, a partir das possibilidades apresentadas pelo chip de silício.

Finalmente, a criação ou adaptação do software possibilitou a venda dessas pequenas máquinas em larga escala.

1954

A IBM introduz o primeiro computador produzido em série, o 650, de tamanho médio.



1953

Jay Forrester, do MIT, constrói uma memória magnética menor e mais rápida. Esta substituirá aquelas que usavam válvulas eletrônicas.



1954

Gordon Teal, da Texas Instruments, descobre um meio de fabricar transistores de cristais isolados de silício a baixo preço.



mercialmente, pois, apesar de naquele ano as vendas das calculadoras atingirem a casa de 1,2 milhão de dólares, o custo de fabricação foi de 1,4 milhão.

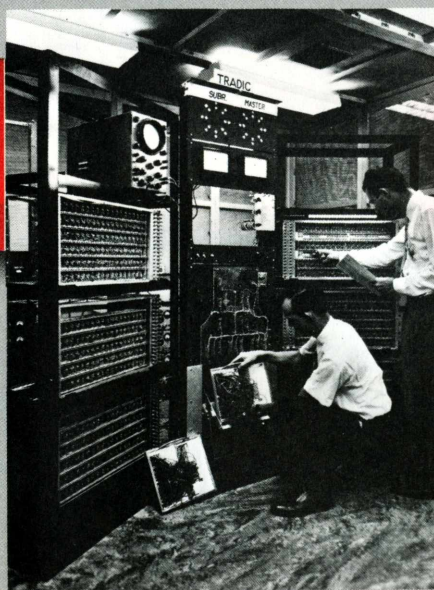
“Uma vez que eu estava intensamente fascinado”, lembrou Roberts uma década mais tarde, “era difícil retroceder. Os empresários são construtores de impérios com seus egos gigantescos. Essa mentalidade não os permite refrear-se até que seja tarde demais.” A falência já se insinuava no horizonte quando ele jogou sua última cartada, dando um salto para além das calculadoras e desenvolvendo algo ainda mais poderoso: um pequeno computador digital de custo acessível.

Por mais excitante que fosse essa idéia, se examinada hoje, ela fracassaria sem o apoio catalisador da *Popular Electronics*. Depois que a *Radio Electronics*, a grande rival da *PE*, publicou um artigo de capa sobre o Mark-8, em julho de 1974, o diretor editorial Arthur Salsberg decidiu apresentar uma máquina ainda mais poderosa na capa da *PE*. O computador de Roberts, planejado com base no novo microprocessador 8080 da Intel, era ideal. Salsberg designou o editor técnico Leslie Solomon para examinar o projeto que seria divulgado na edição de janeiro de 1975.

Leslie Solomon, com um temperamento alegremente fanfarrão, era conhecido por seu sutil senso de humor e sua inclinação para contar histórias autobiográficas



1958 e 1959
Robert Noyce, Jean Hoerni, Jack Kilby e Kurt Lehovec participam do desenvolvimento do circuito integrado.



1955

O primeiro computador transistorizado do Bell Laboratories, o TRADIC, compunha-se de oitocentos transistores, cada um em seu próprio recipiente.

1961

Steven Hofstein descobre o transistor de efeito de campo, usado nos circuitos integrados MOS.



que cativavam, mas nem sempre convenciam, os leitores. Contava, por exemplo, que lutara ao lado de Menachem Begin para a criação do Estado de Israel; discorria sobre viagens de busca espiritual, nas quais santos das tribos indígenas da América Latina o alimentaram com drogas alucinógenas e lhe ensinaram segredos místicos. Alardeava também sua capacidade de fazer objetos pesados levitarem, utilizando apenas sua energia mental.

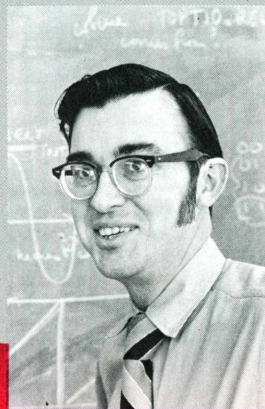
Depois que a máquina de Roberts tornou-se parte do folclore industrial, Solomon contou uma história a respeito da origem do nome desse computador que podia ser tão apócrifa quanto era atraente. Essa versão contava que ele procurava algo com mais personalidade que o PE-8 — com esse nome Roberts homenageava à *Popular Electronics*. Solomon viu sua filha de 12 anos assistindo na televisão a uma reprise do filme *Jornada nas Estrelas* e teve a idéia de dar à máquina do MITS o mesmo nome do computador da nave estelar *Enterprise*. Sua filha, contudo, informou que o computador da espaçonave não tinha nome, mas sugeriu uma alternativa: Altair, como era chamada a estrela para a qual a nave se dirigia naquele episódio.

De acordo com Forrest Mims, que escreveu o manual de operação do Altair,



1965

A Digital Equipment introduz o PDP-8, o primeiro minicomputador bem-sucedido comercialmente, com preço competitivo.



1971

Ted Hoff planeja o microprocessador Intel 4004 — um único chip com todas as partes básicas de um processador central.



1968

A Burroughs produz o B2500 e o B3500, os primeiros computadores com circuitos integrados.

1974

Ed Roberts, do MITS, constrói um microcomputador chamado Altair



a verdade é que John McVeigh, da equipe editorial da *Popular Electronics*, recomendou batizar o computador com o nome de uma estrela, uma vez que seu lançamento foi considerado um "evento estelar". Roberts aceitou, sem dar muita atenção a isso, pois acreditava que poderia ser um mau presságio dispensar muita atenção a um detalhe tão trivial quanto o nome de uma máquina.

Para se prevenir da falência, enquanto preparava o primeiro Altair para ser apresentado na capa da *PE*, Roberts solicitou um empréstimo bancário de 65 000 dólares. Para sua grande surpresa e alívio, os banqueiros o concederam, na esperança de recuperarem os 250 000 dólares que haviam investido no MITS. Mas, no último momento, um desastre: o único protótipo pronto do Altair foi perdido pela companhia de navegação quando vinha do Novo México e se dirigia ao escritório da *PE*, em Nova York. À medida que se esgotava o prazo para a impressão da revista, e já sem tempo para construir um outro computador, o MITS e a revista concordaram, desesperados, em lançar mão de uma mentira.

A fotografia do Altair publicada pela *PE* era, na realidade, a de um invólucro vazio sem nenhum poder de computação em seu interior. Mas o logro funcionou. Tão logo as revistas chegaram às bancas, a fortuna do MITS experimentou uma

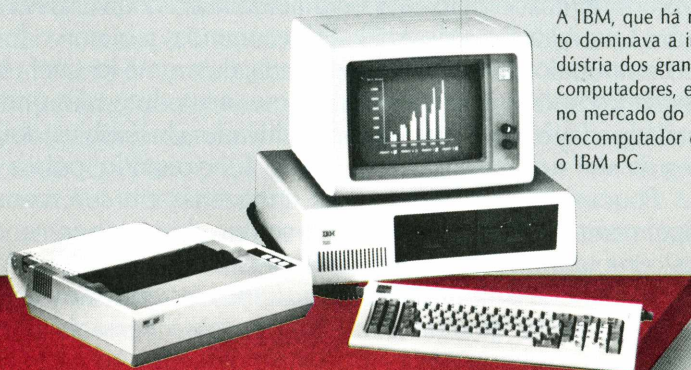


1975

Os estudantes Bill Gates e Paul Allen criam o primeiro software para microcomputador — uma adaptação BASIC para o Altair.

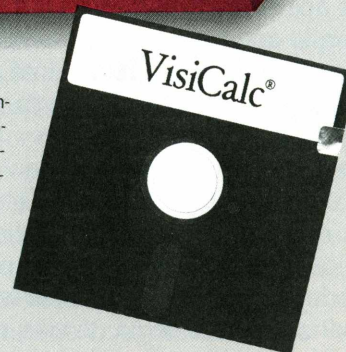
1981

A IBM, que há muito dominava a indústria dos grandes computadores, entra no mercado do microcomputador com o IBM PC.



1979

A Software Arts lança o VisiCalc, o primeiro programa comercial para microcomputadores.



1977

Três computadores surgem no mercado da produção em série: o Apple II, o TRS-80 da Radio Shack e o PET da Commodore.



ascensão surpreendente. Com a Intel vendendo seu chip 8080 por 360 dólares, o preço de etiqueta do Altair, 397 dólares, constituía um roubo (Roberts fizera, anteriormente, uma perspicaz negociação com a Intel para comprar os chips por atacado, a cerca de 75 dólares cada). Os pedidos de encomenda começaram a inundar Albuquerque com uma rapidez maior do que a pequena companhia podia suportar. Quando Roberts garantira a seus banqueiros, pouco tempo antes, que venderia oitocentos Altair por ano, mal acreditava que isso fosse possível. No entanto, três meses depois de anunciar ao mundo seu microcomputador, já se sentia em dificuldades para satisfazer os 4 000 pedidos de encomenda. A máquina, como a definiu um de seus primeiros compradores, “era um sucesso absoluto, disparado, noturno e insano”.

Esse sucesso deu origem a uma multidão de empresas, que agora já não podiam mais duvidar da indústria de microcomputadores. Em julho, surgiu a primeira loja de computadores do país — com exclusividade para o Altair — na zona oeste de Los Angeles. Logo em seguida, ela dividiu-se em duas e, posteriormente, formaram-se cadeias de lojas especializadas. Enquanto isso, o vice-presidente do MITS, David Bunnell, editava *Computer Notes*, o primeiro boletim de notícias de uma firma de microcomputadores, dirigido aos empregados da companhia, mas com uma circulação externa de 12 000 exemplares. Um grupo de empregados do MITS atravessou o país num caminhão apelidado de MITS-MOBILE, numa verdadeira cruzada para fazer demonstração da máquina para prováveis compradores. Por onde o MITS-MOBILE passava, clubes de computadores começavam a surgir.

O entusiasmo do mercado pelo MITS era ainda mais notável tendo-se em vista as limitações um tanto drásticas do Altair. Por economia, a maioria dos compradores adquiria o computador como kit, tendo, ainda, de montá-lo, tarefa que requeria uma boa dose de *know-how* técnico e sem o que o produto não tinha condições de funcionar adequadamente. E quando um cultivador de hobbies, dotado de mais perícia, conseguia ver sua máquina montada e funcionando, pouca coisa podia fazer com ela. Poucos dados o Altair podia armazenar em sua memória — 256 bits —, principalmente ao se compará-lo à memória de várias centenas de milhares de bits dos computadores fabricados uma década depois. Além disso, não dispunha nem de teclado nem de monitor: os usuários introduziam seus programas e dados em forma binária, girando para cima ou para baixo as diversas chaves articuladas. Para ler o resultado, se fazia necessário decifrar os padrões ligado-desligado que se formavam num banco de lâmpadas piscantes. O MITS, na luta para corresponder à demanda criada, só muito lentamente investiu no desenvolvimento de *software* e acessórios que dessem à máquina algum poder real e conferissem a seus usuários não apenas a mera posse de um computador mas a possibilidade de realizar alguma tarefa séria. Felizmente para Roberts e sua firma, a alegria de possuir um computador, mesmo rudimentar, parecia suficiente para satisfazer a primeira onda de clientes.

Ed Roberts percebera a capacidade do Altair em aceitar facilmente a inclusão de acessórios, como igualmente acontecia com os minis para fins comerciais. Percebeu também que o próprio usuário seria capaz de instalar outras funções no Altair pelo simples encaixe de pinos numa placa de circuitos. No entanto, para que as placas anexadas pudessem comunicar-se com a placa principal de circuitos, a máquina precisaria de um sistema de vias, ou canais de fios, para dados ou instruções. O sistema de via aberta do Altair — denominada Altair-100 por possuir 100



O engenheiro-empresário George Morrow revela, furtivamente, a nova placa de memória de 8K, nesta foto publicitária de 1979. Morrow, que só mais tarde construiria seu próprio computador, vendeu a placa como um acessório para o Altair

fios — permitia ao usuário anexar a ele até dezesseis placas de circuitos para acessórios e memória adicional. A embalagem do computador passou a ser construída em tamanho maior que o necessário, justamente para acomodar as placas adicionais. A fonte de alimentação foi novamente planejada levando em conta essas prováveis modificações.

A criação dessas vias foi uma tarefa precipitada. Aperfeiçoamentos como a eliminação de interferência elétrica entre os fios, acondicionados muito próximos uns dos outros, demandavam tempo, e isso os inviabilizava. Os itens do kit cada vez mais entulhavam o gabinete do Altair até o ponto de colapso. (O Altair-100 foi posteriormente rebatizado como S-100 pelos competidores, que usavam o seu desenho em suas próprias máquinas; e, para grande desgosto de Roberts, o novo nome tornou-se popular.)

A CRIAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA

Outros aficionados transformaram as criações inspiradas no Altair em produtos para o mercado inesperadamente grande que Roberts havia descoberto. Paul Allen, um jovem programador, associou-se a um estudante de Harvard, William Gates, com o objetivo de escrever para o Altair uma versão popular da linguagem de computadores, chamada BASIC (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code — Código de Instruções Simbólicas para todos os Propósitos dos Principiantes). Ofereciam, assim, ao computador uma linguagem que facilitava o trabalho dos usuários na programação de suas máquinas. Quando Allen viajou até Albuquerque para fazer demonstração do seu produto, Roberts foi convidado para dirigir — na verdade, para criar — o departamento de *software* do MITS. Mais tarde, Gates e Allen fariam pesquisas por conta própria, fundando a Microsoft, uma das mais bem-sucedidas companhias de *software* da indústria de microcomputadores. No setor de *hardware*, dois estudantes da Universidade de Stanford planejaram um dispositivo que permitia ao Altair exibir gráficos em cores numa tela de televisão. Essa companhia expandiu-se rapidamente para além dos acessórios do Altair, chegando, em 1976, a fabricar uma marca rival de microcomputador, chamada Z-2.

O Altair tocou num ponto fraco de milhares de aficionados que sonhavam possuir seus próprios computadores, pois o sucesso do MITS instigava sonhos muito maiores. A partir do duplo motivo — a paixão pela tecnologia e o desejo de fazer fortuna — que impulsionara Roberts a fundar o MITS, surgiu a energia para a construção de uma verdadeira indústria. E, quando o Altair completou um ano, mais de duas dúzias de fabricantes já se encontravam em plena atividade no campo do computador pessoal.

Com o advento dessas máquinas, outras aventuras tornaram-se possíveis. Os editores começaram a produzir revistas exclusivamente dedicadas à computação pessoal. As exposições e mostras de microcomputadores — iniciadas com a Primeira Convenção Mundial sobre o Computador Altair, realizada em Albuquerque, em 1976 — proporcionavam um fórum para a apresentação de novos produtos relacionados ao setor e um intercâmbio de idéias.

Despreparado para enfrentar a ferocidade do mercado e carente de sagacidade comercial para fornecer retaguarda à competente criatividade da engenharia, o MITS só foi capaz de suportar seu vertiginoso sucesso apenas durante dois anos e meio. Em 1977, Roberts vendeu sua ainda próspera companhia para a Pertec Computer Corporation, fabricante de componentes para grandes computadores.

A criativa e bem-humorada capa do *Dr. Dobb's Journal* desmente seu desejo de ser uma referência para os entusiastas da computação. Publicado pela primeira vez, em 1976, pela People's Computer Company, de fins não-lucrativos, o *Journal* oferecia conselho, instrução e "calistenia" — ou exercícios —, enquanto cuidadosamente evitava o "overbyte", excessiva demanda sobre a memória do computador, impedindo, assim, o surgimento de uma "ortodontia" de *hardware*.

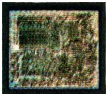
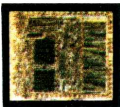


ROMPENDO OS LIMITES DO HOBBY

O primeiro fabricante de microcomputadores a seguir um caminho mais sintonizado com o mercado foi a IMSAI Manufacturing, instalada em San Leandro, Califórnia. Encabeçada por um ex-vendedor da IBM, William Millard, a IMSAI — Information Management Science Associates (Associação Científica para Administração e Informações, Incorporada) — dispendeu muito esforço conjunto para conferir ao microcomputador outro tratamento — um bom “corte de cabelo e polimento nos sapatos” — e introduzi-lo no mundo dos negócios. Ridicularizando o clima pouco sério de culto a hobbies que dera nascimento à indústria, a IMSAI estava determinada a vender seus pequenos computadores a pessoas que os conceberiam como uma eficiente ferramenta de escritório e não como um simples brinquedo.

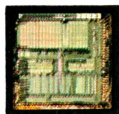
O estilo ambicioso e agressivo de Millard era realçado por suas experiências com os EST — Erhard Seminars Training (Seminários de Treinamento Erhard) —, um dos esquemas mais bem-sucedidos comercialmente para a emergência do que se chamaria movimento potencial humano da era. Com base nesse programa, Millard começa a acreditar em sua própria invencibilidade e a negar a mais remota possibilidade de fracasso. Ocupou as posições executivas mais altas da IMSAI, junta-

Uma galeria de campeões

Nome do chip	INTEL 4004 	INTEL 8080 	MOS TECHNOLOGY 6502 	MOTOROLA 68000 	
Data da primeira emissão	1971	1974	1975	1979	
Número de componentes	2 250	4 500	4 300	70 000	
Velocidade	soma dois números de 4 bits em 11 milionésimos de segundo	soma dois números de 8 bits em 2,5 milionésimos de segundo	soma dois números de 8 bits em 1 milionésimo de segundo	multiplica dois números de 16 bits em 3,2 milionésimos de segundo	
Importância	foi o primeiro microprocessador	foi o primeiro microprocessador planejado para todos os fins; tornou-se o padrão para a jovem indústria dos microcomputadores	muito rápido, poderoso e barato; extensamente usado em computadores domésticos populares	um dos mais poderosos e versáteis chips de 16 bits; executa multiplicação como uma única operação em vez de realizá-la pela repetição de adições.	

Os microprocessadores da tabela abaixo são alguns dos mais significativos chips já construídos. O primeiro deles, o Intel 4004, surgido em 1971, era um dispositivo de 4 bits — um chip capaz de processar 4 bits de informação de uma só vez. Desde essa época, a velocidade, complexidade e poder de processamento dos chips aumentaram exponencialmente. Em 1981, a Hewlett-Packard produziu o primeiro “superchip”.

HEWLETT-PACKARD
SUPERCHIP



1981

450 000

multiplica dois números
de 32 bits em 1,8
milionésimo de segundo

o primeiro
microprocessador de 32
bits; é tão complexo que a
equipe de engenheiros
levou dezoito meses para
projetá-lo

mente com outros que passaram igualmente pelo treinamento EST e que compartilhavam de suas crenças nas infinitas possibilidades abertas àqueles que mantêm uma inabalável fé em seu próprio sucesso. A frase “faça um milagre” tornou-se palavra de ordem, repetida incansavelmente para os gerentes da empresa que se propunham atingir exorbitantes metas de vendas.

E conseguiram o milagre. Formada pouco tempo depois que Roberts introduziu o Altair, a IMSAI começava a entregar suas encomendas já no final de 1975. E, no período de um ano, a firma alcançava uma posição de liderança na indústria nascente. No entanto, apesar de todo o empenho, a equipe de vendas não teve condições de coagir o mundo dos negócios a abraçar os microcomputadores com o mesmo fervor dispensado pelos cultuadores da computação. A maioria dos executivos pouco se importava com a derrota da missão sacerdotal do computador e com a alegria que o manuseio de chips, placas de circuitos e linguagens de programação conferia. Eles queriam de imediato um benefício prático, e as máquinas da IMSAI — cópias quase idênticas do Altair, embora mais bem planejadas em certos aspectos —, que entraram no mercado três anos antes de um programa chamado VisiCalc (com o qual os usuários eram capazes de fazer projeções financeiras), conseguiram transformar os microcomputadores em sérias ferramentas de negócios. A carência de programas úteis, no entanto, limitou a companhia a um mercado formado, basicamente, pelos fãs da eletrônica com ambições comerciais.

Paradoxalmente, um outro fator se opunha ao sucesso da IMSAI: a ingenuidade de sua orientação em marketing. Forte onde a competição era fraca, a IMSAI tendia também a ser fraca onde a competição fosse forte. Outros pioneiros, que continuavam apaixonados pela tecnologia, permaneceram ingênuos, ignorantes ou, simplesmente, despreocupados em relação à inconstância do mercado e à estratégia de marketing. O ímpeto de Millard e de seus executivos para conseguir maravilhas na frente de vendas levou-os a deixar em segundo plano o departamento de engenharia da IMSAI, que, forçado a manter o ritmo das vendas, apressou-se em produzir máquinas antes mesmo que seu projeto tivesse sido adequadamente testado.

Esse problema, porém, dificilmente seria fatal: os primeiros compradores estavam acostumados com máquinas temperamentais, predispostas a falhas. O problema mais sério era a identificação destes com fabricantes que compartilhavam do espírito dos cultuadores de hobbies e que adotavam uma atitude amigável, do tipo estamos-todos-juntos-nisto, com relação à solução de problemas e panes no mecanismo elétrico. Assim, a insensibilidade diante dos problemas enfrentados pelos consumidores de seu produto levou a IMSAI a uma queda tão rápida quanto tinha sido sua ascensão. Assim, a companhia foi à bancarrota em 1979, mais ou menos na mesma época em que a Pertec entrava em fase com o Altair do MITS.

UM ANO MARCANTE

Nem o MITS nem a IMSAI conseguiram o equilíbrio entre engenharia e habilidades de marketing necessário para sustentar algo mais que uma ascendência de curta duração. Em 1977, três outros concorrentes lançaram-se no mercado com sucesso. Durante os dois anos seguintes as duas firmas mais bem estabelecidas — Tandy Radio Shack e Commodore International — compartilhavam a liderança em vendas de microcomputadores, seguidas de perto, firme em seus calcanhares, por uma companhia que, de repente, surgiu do nada, esquisitamente batizada de Apple Computer (Computador Maçã).

A primeira a concretizar um projeto foi a Commodore, com seu PET, sigla para Personal Electronic Transactor, computador anunciado em janeiro de 1977 (embora só estivesse efetivamente disponível nas lojas bem mais tarde nesse ano).

O fundador da companhia, Jack Tramiel, sobrevivente de Auschwitz, foi para os Estados Unidos ainda adolescente, depois da Segunda Guerra Mundial. Dinâmico e exigente, começou sua carreira nos negócios montando máquinas de escrever e passando, em seguida, a fabricar calculadoras eletrônicas — algumas das quais ajudaram a afastar Ed Roberts e o MITS da concorrência. Em 1976, ingressou num novo campo, comprando a MOS Technology, companhia cujo fundador, Chuck Peddle, desenvolvera um chip denominado 6502. Com o *know-how* de Peddle e a aquisição de outra firma, a Frontier Manufacturing, Tramiel estava pronto para tomar de assalto o mercado de microcomputadores.

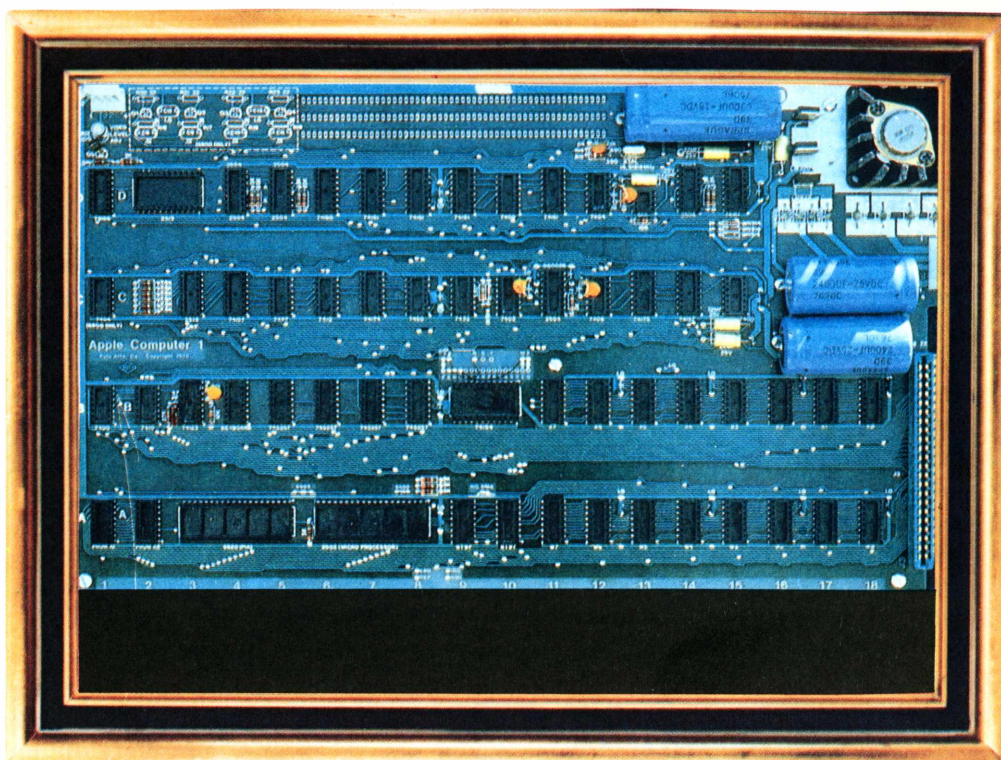
Paralelamente, outra firma teve a mesma idéia. A Tandy Radio Shack era uma cadeia de lojas, com sede no Texas, que vendia produtos eletrônicos — kits e componentes para dispositivos que iam de rádios com faixas de frequência de cidadão, até equipamentos estereofônicos. A cadeia estava, assim, numa excelente posição para explorar a demanda que amadores aficionados manifestavam por computadores pessoais. Só era preciso uma máquina. Em julho de 1976, a companhia recrutou Steven Leininger, graduado em engenharia e que trabalhava numa empresa no Vale do Silício dedicada à fabricação de chips, a National Semiconductor. Durante os seis meses seguintes, Leininger e uma pequena equipe trabalharam no quartel-general da Radio Shack, em Fort Worth, para construir uma máquina que pudesse competir com o Altair.

Durante sua passagem pelo Vale do Silício, Leininger ganhava um dinheiro extra trabalhando como caixeiro na Byte Shop, uma das primeiras lojas especializadas em computadores. Além disso, passava boa parte de seu tempo livre no Homebrew Computer Club, grupo que viria a ter profunda influência na nova indústria. Em Leininger a Radio Shack encontrara alguém que não somente conhecia engenharia eletrônica mas possuía também uma larga experiência com fãs de computador. A conselho dele, a companhia abandonou seu plano de vender kits de computador; em vez disso, optou por desenvolver um modelo completamente montado que permitiria aos usuários fazer algo mais que manipular chaves articuladas e ler respostas em luzes piscantes. Leininger, num duplo feito que poucos seriam capazes de levar a cabo com êxito, praticamente sem ajuda alguma, planejou, além da arquitetura do computador, seu *software* residente.

O Modelo I do TRS-80 foi construído com base num microprocessador que acabava de ser lançado, o Z-80, intimamente aparentado com o Intel 8080, mas superior a este no desempenho. (O Z-80 era produzido pela Zilog, companhia fundada por ex-engenheiros da Intel — circunstância que, mais tarde, levou a uma disputa legal.) Para fornecer aos usuários um meio prático de introduzir dados na máquina e receber outros vindos dela, Leininger conectou-a a um monitor de vídeo semelhante a uma televisão e a um teclado como o da máquina de escrever, acrescentando um gravador de fita cassete para armazenamento permanente de dados.

Em 2 de fevereiro de 1977, Leininger pôs à prova seu protótipo, submetendo-o à apreciação de Charles Tandy, chefe da companhia. Tudo funcionou bem. Soprando sobre a tela a fumaça de seu charuto, Tandy deu seu parecer sobre como gostaria que fosse o jeitão do aparelho. Alguém perguntou quantos eles poderiam construir: 2 000? 2 500?

Uma placa de circuitos do Apple I original, batizado, por brincadeira, de “Nosso Fundador”, foi emoldurada e pendurada no primeiro escritório da companhia, em 1977. A maioria das 200 unidades do Apple I, toscamente construídas, foram eventualmente dadas como parte do pagamento pelos Apple II.



O superintendente da corporação disse: “Adquirimos 3 500 lojas para nossa própria companhia. Penso que podemos construir esse número. Se não forem vendidos, poderemos usá-los no quarto dos fundos para contabilidade”.

O Modelo 1 — primeiro microcomputador a oferecer garantia para todos os componentes — foi posto à venda em setembro. Só no primeiro mês, a companhia recebeu 10 000 encomendas, e a demanda prosseguiu tão intensa que sua linha de produção não pôde supri-la por quase um ano. Em fins de 1978, Tandy já obtinha uma clara vantagem sobre o Commodore no campo do microcomputador.

Mas a disputa se converteu rapidamente numa competição a três, assim que a Apple entrou em ação. Formada como uma débil parceria na primavera de 1976, essa empresa começou, modestamente, vendendo apenas duzentas unidades de sua primeira versão, o Apple I. Em poucos anos, no entanto, a companhia passaria a dominar tão completamente o mercado e se revestiria de uma tal aura mitológica que muitas pessoas não duvidavam de que os “dois Steves”, Stephen Wozniak e Steven Jobs, haviam fundado uma verdadeira indústria quando criaram sua firma.

A EXCÊNTRICA DUPLA DA APPLE

Wozniak e Jobs, cujo sucesso como empresários trouxe uma espécie de fama difícil de apagar, eram uma espécie de mistura do MITS e da IMSAI. Tinham pouco em comum, exceto a paixão pela eletrônica, o colégio de Los Altos, na Califórnia, que ambos freqüentaram, e a amizade que os unia. Wozniak (Woz para os amigos) era quatro anos mais velho que Jobs, e tinha 27 anos em 1983, quando a Apple apareceu na lista da *Fortune* 500. Era um jovem conservador, que várias vezes manifestou-se contra o uso de drogas, tão comum entre seus contemporâneos. Sua mãe participava ativamente da política republicana, conseguindo, certa vez, que ele fosse fotografado com o então candidato governamental Richard Nixon, da Califórnia, para a primeira página de um jornal local. Durante todo o tempo de colé-

gio Wozniak foi tomado por uma tal devoção à tecnologia que lhe sobrava pouco tempo para o estudo ou os relacionamentos sociais.

Para Jobs, por outro lado, computadores e eletrônica eram somente dois dos muitos interesses a serem explorados. A procura de um sentido para a vida e de estímulos intelectuais, emocionais e espirituais conduziu-o por diversos caminhos contraculturais: drogas e dieta vegetariana, jejum, meditação e a terapia do grito primal; escreveu poesias e fantasiou uma carreira literária. Alarmou seus parentes anunciando que pretendia passar o verão, após graduar-se no colégio, morando com a namorada num cubículo alugado. Abandonou o colégio seis meses mais tarde e trabalhou algum tempo em serviços ocasionais, retornando depois a Los Altos. Seu interesse por misticismo e pelas religiões orientais levou-o depois à Índia, onde visitou templos e festivais religiosos. Quando, finalmente, dedicou-se à tarefa de criar e dirigir um negócio, agarrou-a com o fervor de alguém que encontrara, finalmente, o sentido da vida.

Wozniak, que nunca teve dúvida de que o sentido da vida estava nos computadores, possuía uma veia brincalhona e histriônica, que contrastava com sua seriedade em relação à ciência. Quando adolescente, certa vez passou uma noite num reformatório juvenil por ter colocado uma bomba de mentira na gaveta de um amigo do colégio. Certa vez, descobriu um meio de fazer uma chamada telefônica grátis para o Vaticano, imitando o então secretário de Estado Henry Kissinger e pedindo para falar com o Papa. Seu sotaque, e não qualquer falha de tecnologia, fez com que a brincadeira fracassasse e não fosse concluída.

O sistema de comutação computadorizada da AT&T exercia tamanha fascinação sobre Wozniak que ele se tornou um membro ativo da cultura *underground* dos *phone phreaks* (aberrações telefônicas). *Phone phreaks* eram guerrilhas tecnológicas feitas por pessoas embriagadas pela exuberância da eletrônica ou pela hostilidade para com o mundo empresarial. Entravam como “penetras” no sistema telefônico para longas e ilegais “corridas em automóvel de propriedade alheia” através da rede de cabos, fios e retransmissões via satélite. A chave era uma coisa chamada caixa azul, um dispositivo eletrônico emissor de tons calibrados com precisão para imitar o equipamento do próprio sistema telefônico, burlando assim seus computadores e abrindo circuitos a longa distância, isentos de despesas.

Alguns *phone phreaks* foram parar na cadeia por suas incursões. Wozniak entrou no negócio. Foi seu primeiro empreendimento com Jobs. Sem temer as repercussões legais, Wozniak construía caixas azuis enquanto Jobs encarregava-se da compra dos componentes e da venda do produto acabado. Vários anos antes de entrarem no negócio legal dos microcomputadores, os dois Steves ganharam milhares de dólares fornecendo *phone phreaks* num contrabando eletrônico habilmente desempenhado.

Mais tarde, ambos foram trabalhar para firmas de prestígio do Vale do Silício. Jobs programava *videogames* para a Atari, cujo fundador, um jovem e imaginativo homem de negócios chamado Nolan Bushnell, estava provando que se podia ganhar milhões de dólares com entretenimento computadorizado. Wozniak obteve um emprego como engenheiro na Hewlett-Packard, uma empresa mais tranqüila. Em 1975, quando Jobs e Wozniak decidiram construir seu próprio microcomputador, os dois jovens futuros milionários, com sua casual amoralidade, “liberaram” peças para sua máquina de ambos os patrões.



Os Apple II são transportados através de uma linha de produção, em 1981, ano em que a IBM entrou no mercado do microcomputador. Grande parte do sucesso do Apple II foi consequência de seu planejamento aberto: o *hardware* e o sistema operacional não foram mantidos secretos, o que permitiu, aos chamados “terceiros” promotores do desenvolvimento, escrever vários programas para a máquina.

A FECUNDA ANARQUIA DA HOMEBREW

Wozniak, autor da maior parte do planejamento e da construção, extraiu inspiração do Homebrew Computer Club, de cujas fileiras proviriam mais de vinte empresários do Vale do Silício. Os espíritos entusiastas que se moviam por trás do Homebrew constituíam um grupo de ativistas da tecnologia que viam na microcomputação um meio de pôr em prática a palavra de ordem de John Lennon: "Power to the people". Realizavam reuniões indulgentemente anárquicas, cujo moderador era Lee Felsenstein, um engenheiro eletricitista que planejou o primeiro computador portátil, o Osborne I. Para Felsenstein, a revolução do microcomputador foi uma revolução autêntica, uma oportunidade para os indivíduos assumirem o controle de uma tecnologia à qual, até então, o *Establishment* vedara o acesso.

UMA ESTRÉIA NADA ESPETACULAR

A máquina que Wozniak demonstrou numa reunião do Homebrew, no outono de 1975, se não chegou a humilhá-lo, tampouco teve o brilho esperado. Era tão grande o número de entusiastas que traziam seus "inventos" que Woz e sua máquina não se destacaram. Somente alguns de seus colegas ficaram curiosos pelo uso inteligente que ele fazia do novo chip 6502 da MOS Technology. Embora muito menos conhecido que o Intel 8080, usado no Altair, e que estava mais na moda, o 6502 era — ao preço de 20 dólares — consideravelmente mais barato. Woz confiou os detalhes do seu projeto aos poucos que estavam interessados, e ajudou alguns deles a construir suas próprias versões da máquina. Mas foi Jobs o encarregado de levar a coisa ao mercado. Persuadiu Woz a fabricar o computador e a vendê-lo aos amigos e a algumas novas lojas especializadas na região. Em abril de 1976, os dois assinaram um acordo reconhecendo oficialmente sua parceria. Nascia assim o computador Apple.

Como aconteceu com o Altair, a origem do nome Apple é um tanto obscura. Foi sugerido por Jobs como alternativa entre outras propostas que remetiam às possibilidades da alta tecnologia, e que não soavam muito bem.

Jobs era tão apaixonado pelos Beatles que deve ter sugerido o nome de sua gravadora em homenagem a eles. Mas também é possível que estivesse pensando na All One Farm, no Oregon, comuna onde passara longas horas trabalhando no pomar de maçãs, depois de abandonar o colégio. Além disso, houve também um período, logo após o seu retorno da Índia, em que se tornou frugívoro e comia grande quantidade de maçãs. De qualquer forma, o nome Apple tinha o som adequado — orgânico e amistoso — para uma companhia cujo capital inicial — 1300 dólares — foi levantado com a venda de um caminhão Volkswagen e uma calculadora programável especial. "Pelo menos ele nos colocou na frente da Atari, na lista telefônica", diria Jobs mais tarde.

O equipamento para fabricar o Apple foi inicialmente instalado num quarto de hóspedes da família de Jobs, onde os dois Steves montaram cinquenta máquinas, vendidas à Byte Shop, a loja que empregara Steve Leininger. À medida que o negócio prosperava, eles transferiram a instalação para a garagem, continuando seu trabalho de montagem, enquanto Wozniak refinava o desenho daquele que, por fim, se tornaria o assombrosamente bem-sucedido Apple II.

Jobs, por sua vez, começou a pensar mais alto e procurar pelo dinheiro e talento que pudessem ajudá-lo a planejar uma companhia tão excitante quanto a máquina de Wozniak. Entrou em contato com peritos nos campos de relações públi-

cas e capital de risco, um dos quais foi A. C. “Mike”, Markkula, um ex-executivo da Intel que se retirara da companhia, milionário, com pouco mais de trinta anos. Markkula visitou a garagem e gostou do que viu: a fusão do gênio de Wozniak em planejamento com a inquieta ambição de Jobs. Investiu parte de seu próprio dinheiro, tornando-se efetivamente um terceiro sócio da Apple, e fez uso de seus contatos na indústria para atrair fundos e talentos executivos. Markkula também dirigiu a metamorfose legal da Apple, que passou de parceria a corporação, transformação consumada na primeira semana de 1977 — pouco mais de um ano depois que Wozniak apresentara seu primeiro Apple para o Homebrew.

UMA SUPERSTAR SUPERLEVE

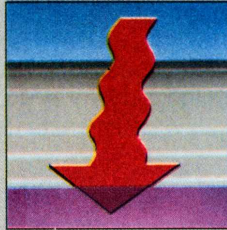
Poucos meses depois, o novo produto da corporação, o Apple II, foi exibido na West Coast Computer Faire, uma exposição comercial em San Francisco. Embalada em plástico macio, pesava pouco mais que 5 quilos, podia gerar gráficos coloridos com um mínimo de chips e possuía uma indiscutível sofisticação — tanto como artefato de engenharia quanto como artigo para o mercado da produção em massa — sem precedentes. Em resumo, o Apple II passou a ser considerado o microcomputador que lançou, de uma vez por todas, essa indústria no mercado. As vendas da companhia naquele ano explodiram: 2,7 milhões de dólares. Durante os poucos anos seguintes, enquanto firmas pioneiras como o MITS e a IMSAI se apagaram, a Apple continuou seu inacreditável crescimento. Em torno de 1980, quando a Apple atraiu as atenções de Wall Street com o maior estoque de fabricação já oferecido por qualquer corporação desde a Ford Motor Company, as vendas anuais tinham alcançado a casa dos 117 milhões de dólares.

O sucesso do empreendimento trouxe a Jobs e Wozniak uma fortuna conjunta de quase 400 milhões de dólares.

No ano seguinte, a IBM introduziu o IBM PC, e com ele toda uma nova era. A entrada da IBM na competição pôs fim às dúvidas que ainda existiam acerca da seriedade e utilidade do microcomputador, porquanto era tido como certo que o Big Blue, como a IBM era conhecida no comércio, jamais faria algo frívolo ou de modo inconseqüente. Mas sua presença na área anunciava também uma sentença de condenação do “sabor de comida feita em casa”, isto é, do estilo informal do hobbista, que tornou possível o surgimento dessa indústria. Uma vez ultrapassado o domínio dos aficionados, para quem o mundo dos grandes negócios era abominável, a microcomputação tornara-se um grande negócio.

Anatomia de um microcomputador

2



Pelo fato de realizarem toda espécie de operações complicadas — e realizá-las com a velocidade do relâmpago — os computadores tendem a inspirar um certo temor na maioria dos iniciantes. E o exame da sua eletrônica pouco contribui para a compreensão de seus notáveis dotes. Todavia, como se percebe nas páginas seguintes, sua estrutura intrínseca e seus métodos de trabalho são a própria simplicidade.

Cada uma das partes básicas de um sistema de computação (página 48) executa uma determinada tarefa de maneira específica. Dois desses elementos já haviam sido descritos em 1833, por Charles Babbage, em sua proposta de uma Máquina Analítica. Babbage postulou um “moinho”, que funcionaria a partir de variáveis e de um “depósito” retentor das variáveis e dos resultados da operação do moinho. Atualmente, esses elementos são conhecidos como unidade de lógica aritmética (ALU - *arithmetic logic unit*) e memória, respectivamente. A ALU integra a unidade central de processamento (CPU - *central processing unit*) do computador, que executa todas as instruções e regula as informações por ele recebidas através de dispositivos de entrada — tais como o teclado ou a caneta óptica — ou as que saem dele e se dirigem ao usuário, através de dispositivos de saída, como a impressora ou o monitor de vídeo.

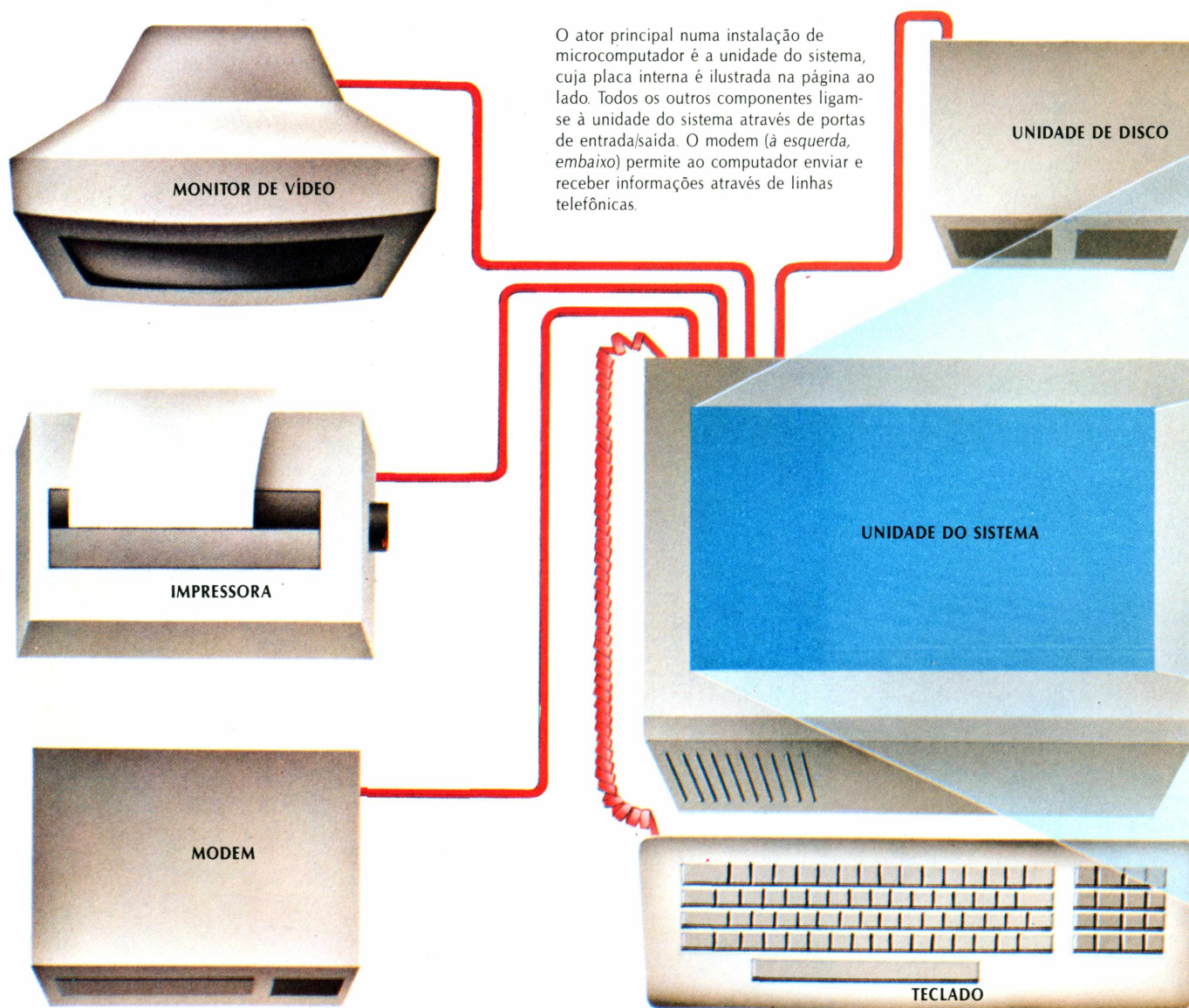
Todas as diversas partes de um computador seguem um modo de operação chamado processamento serial. Seja a máquina um microcomputador ou um computador de grande porte, ela executa suas tarefas de modo absolutamente simplório, passo a passo, examinando cada instrução por vez e agindo sobre ela, antes de passar à instrução seguinte. Até mesmo a mais simples tarefa, somar dois mais dois ou converter uma letra maiúscula em minúscula, envolve a execução de centenas de pequenas rotinas. Mas a duração de cada um desses passos é menor que a de um piscar de olhos; assim, passados apenas alguns segundos, as várias etapas se sucedem até perfazerem uma tarefa completa, que o usuário poderá apreciar ou sob a forma de uma lista exibida na tela ou pela imagem de invasores espaciais num videogame. Nas páginas 50 a 59 é analisada uma seqüência de ações realizadas por um computador para entrar em operação.

Uma visão abrangente do sistema

Os desenhos esquemáticos vistos aqui e nas páginas seguintes ilustram as partes internas e as operações de um microcomputador típico, essenciais a qualquer sistema de computador. Qualquer que seja a máquina, seus dispositivos são similares aos apresentados em seguida. Um teclado, por exemplo, é o equipamento mais comum para introduzir informações e instruções: um monitor de vídeo e uma impressora são instrumentos padronizados para o fornecimento de informações ao usuário. A maioria dos sistemas necessitará de algo equivalente a uma uni-

dade de disco, dispositivo usado para gravar e ler dados ou operar *software* adicional. Todos esses dispositivos são ligados à unidade do sistema que, por sua vez, aloja os elementos eletrônicos do computador, dispostos numa placa, mostrada na página ao lado.

Essa placa contém a unidade central de processamento, ou CPU, um microprocessador que dirige as atividades do computador. Cada instrução deve ser examinada e operada pela CPU, antes que seja executada. Outro dos atores principais instalados nas placas do sistema é um relógio sincronizado por um cristal de quartzo, que coordena o ritmo de trabalho dos muitos circuitos do computador. Quando a máquina está ligada, a corrente elétrica, fornecida pela fonte de alimentação do sistema, faz com que uma lasca de cristal de quartzo, talhada com precisão, deforme-se, ou vibre, numa taxa constante — milhões de vezes por segundo em alguns casos. A cada vibração, o cristal emite um pulso de tensão. Esses pulsos combinam-

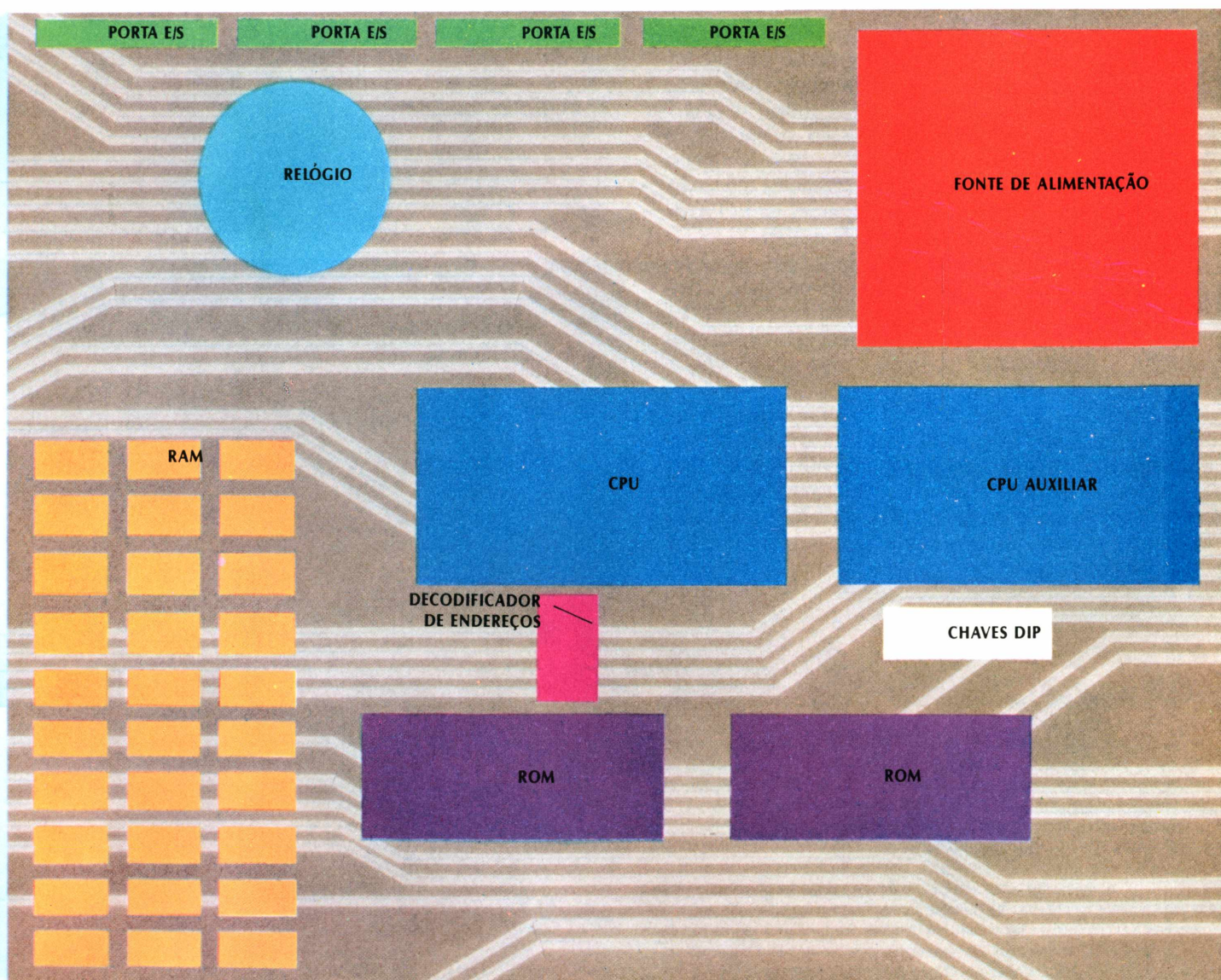


se com outros sinais dentro do relógio controlando o compasso da ação e assegurando que os circuitos permaneçam em fase.

A placa do sistema também inclui portas (E/S) para conectar os periféricos (dispositivos de entrada e saída) e dois tipos de memória interna: ROM, memória somente para leitura (*read-only memory*); e RAM, memória para leitura e gravação (*read-and-write memory*). Originariamente, RAM (*random-access memory*) significava memória de acesso aleatório, expressão de sentido impreciso não mais empregada; a sigla, no entanto, permaneceu, e é de uso comum. A ROM abriga instruções que não podem ser alteradas. A RAM armazena programas e informações apenas enquanto o computador estiver operando. Quando este for desligado, a RAM se apaga.

Cada chip de memória mantém suas informações na forma de dígitos binários, ou bits, codificados como cargas elétricas. Essas cargas são armazenadas em cada chip, em locações particulares ou endereços. Cada endereço encontra-se também sob a forma binária. As instruções saem da CPU como uma série de pulsos elétricos codificados para encontrar um determinado endereço; a informação aí encontrada retorna — também sob a forma de pulsos codificados — à CPU, para processamento. Os códigos de endereço viajam em fios paralelos, chamados vias de endereços; a informação retorna à CPU também por fios paralelos, chamados vias de dados. O decodificador de endereços e as chaves DIP (instaladas para registrar certos endereços importantes) ajudam a dirigir os pulsos elétricos aos seus destinos.

Dois elementos-chave em um computador são a fonte de alimentação, para converter corrente alternada em corrente contínua, e o relógio. Alguns relógios geram mais de um conjunto de pulsos, permitindo a regulação das partes da unidade do sistema, que operam a velocidades mais rápidas.



O início do trabalho do computador

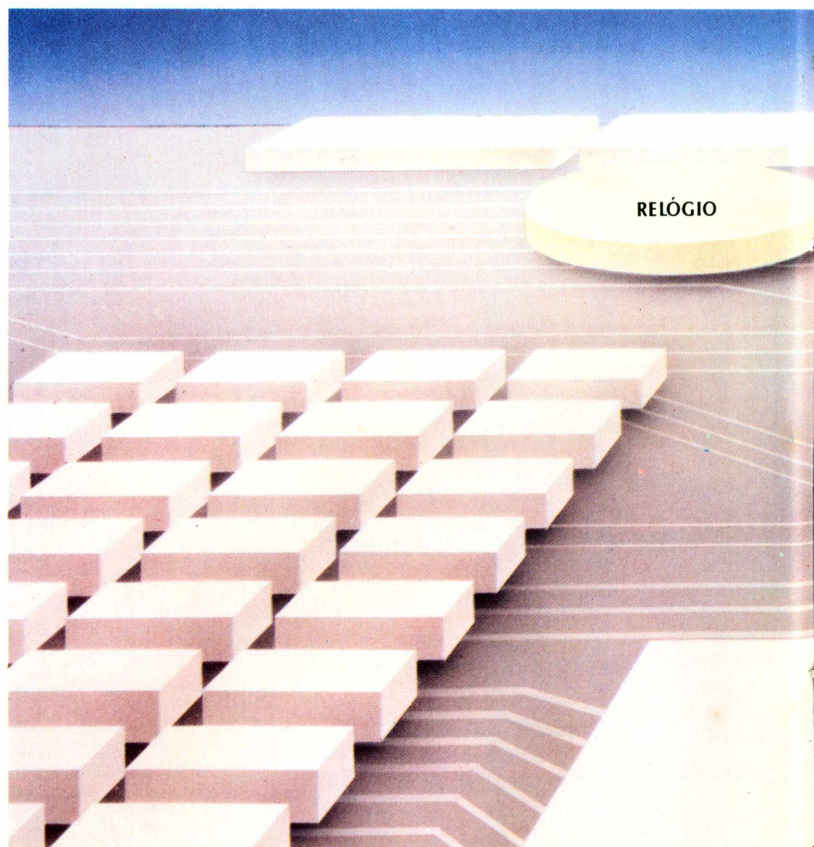
Quando a chave da fonte de alimentação do computador é ligada, a eletricidade precipita-se através de todo o sistema e uma seqüência predeterminada de eventos tem início. O relógio sincronizado por um cristal de quartzo começa a funcionar, irradiando sinais no sistema a uma freqüência de vários milhões de pulsações por segundo. Cada ação é regulada de maneira precisa por esse rápido pulso, independente dos outros sinais de controle do computador. Na primeira pulsação do relógio, um sinal de *reset* (recomposição) limpa automaticamente o conteúdo de todos os circuitos internos de armazenamento temporário da CPU, ou registradores. Limpando um registrador especial chamado contador de programa, o sinal recoloca o conteúdo do contador em zero (*página ao lado*). Assim, a máquina encontra-se pronta para executar um programa inicial chamado *bootstrapping* (freqüentemente abreviado como *booting* ou *boot*) —, que significa ele utilizar seus próprios recursos. Na próxima pulsação do relógio, o contador do programa é carregado com um endereço — uma seqüência de “zeros e uns” expressos nesta ilustração como os dígitos binários 11110010 —, que identifica a localização, na ROM, de um programa para imediato reinício, ou *bootstrap*.

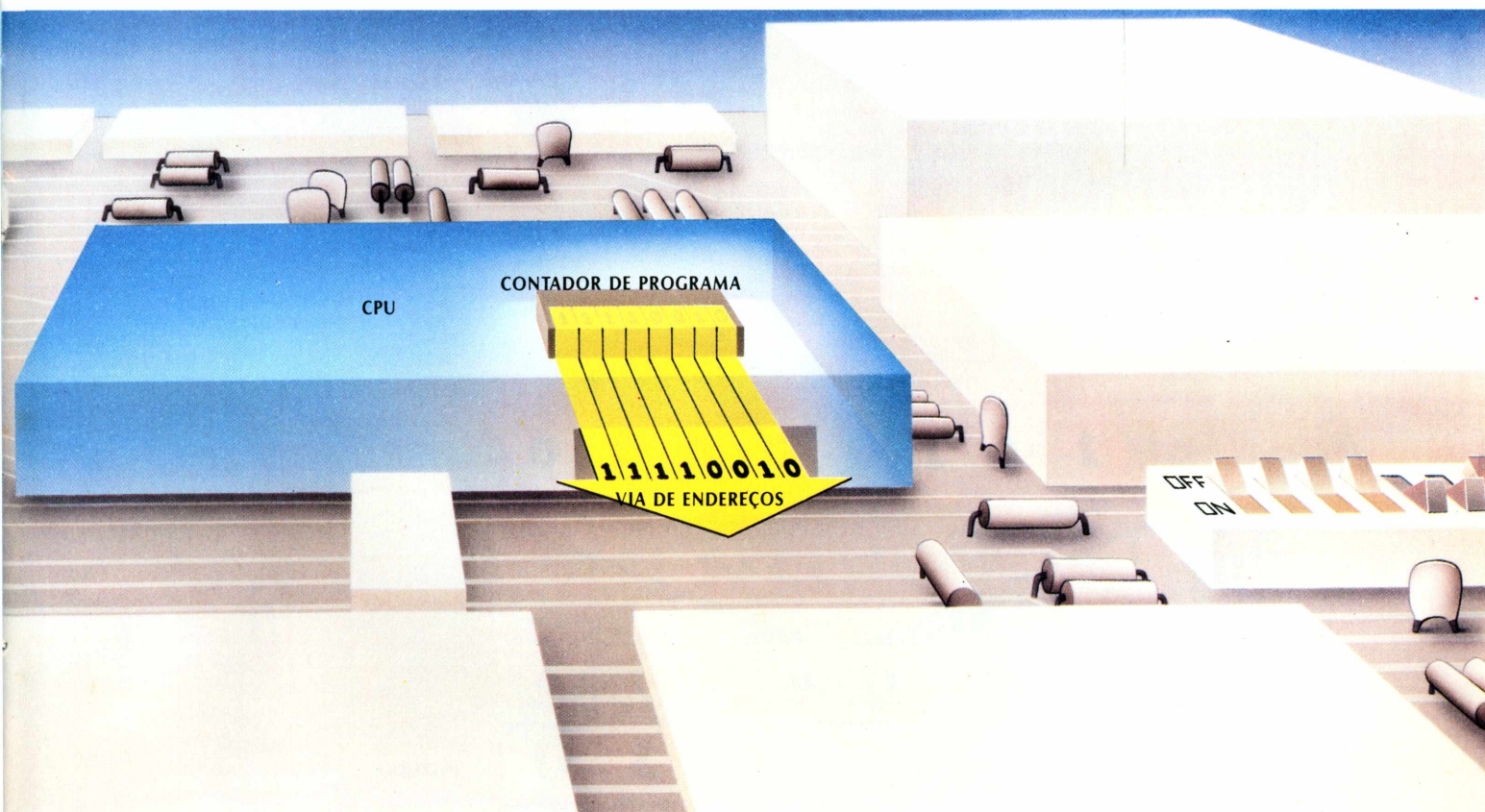
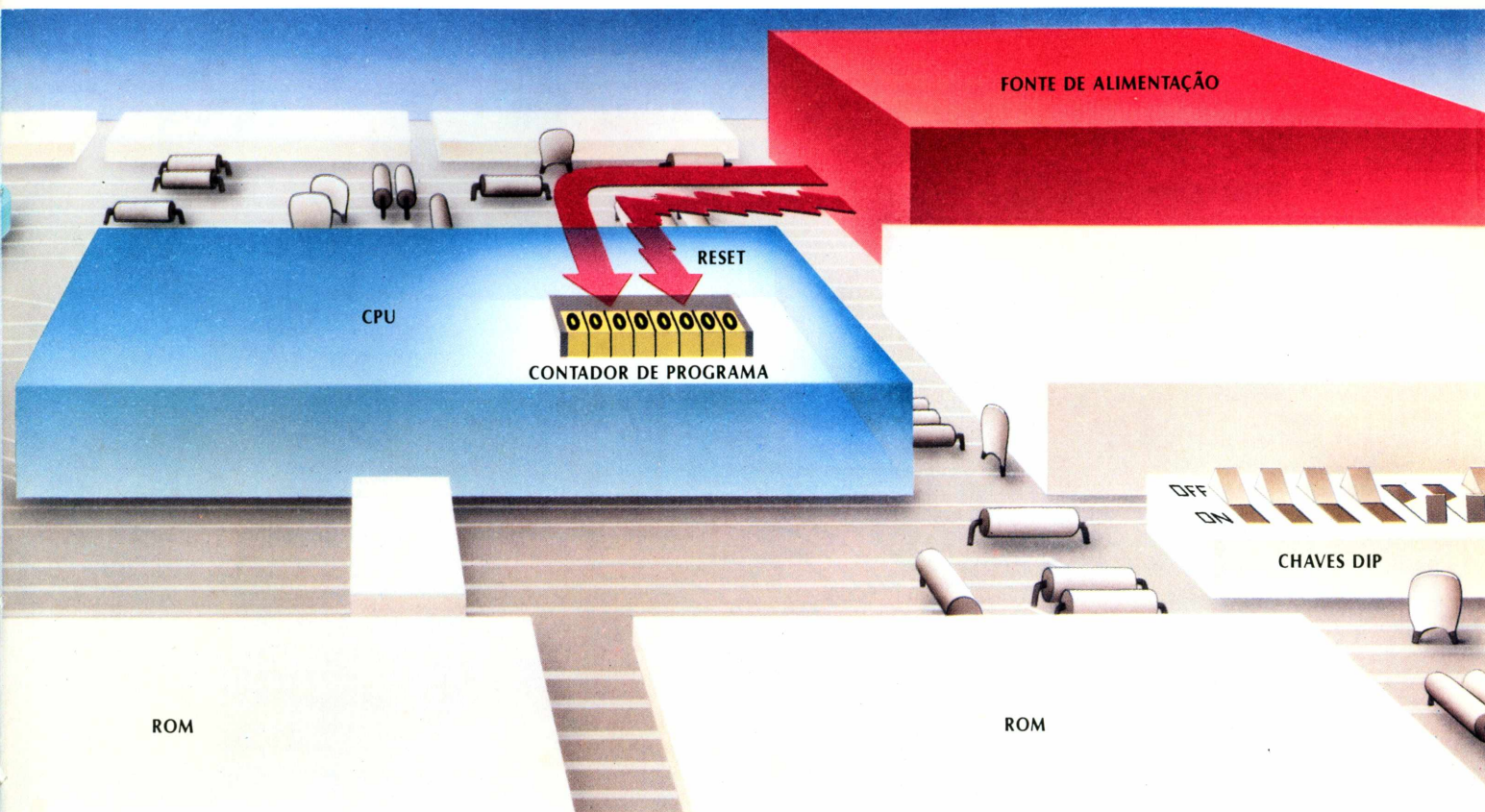
Os programas *bootstrap* variam segundo o tipo de máquina. Algumas vezes, o computador procede, de imediato, à checagem de uma fonte de memória externa, tal como uma unidade de disco, passando a executar, em seguida, as instruções encontradas. No sistema aqui ilustrado, o computador checkará várias partes internas do próprio sistema.

A CPU processa o programa do reinício através de milhares de minúsculos passos. Cada passo consiste em um *byte* (oito dígitos binários), que pode representar um endereço: a instrução ou segmento de dados que se encontra em um determinado endereço (digamos, um numeral ou uma letra do alfabeto). Cada *byte* viaja como uma seqüência de tensões altas e baixas na via de endereços (faixa amarela), ou na via de dados (faixa azul).

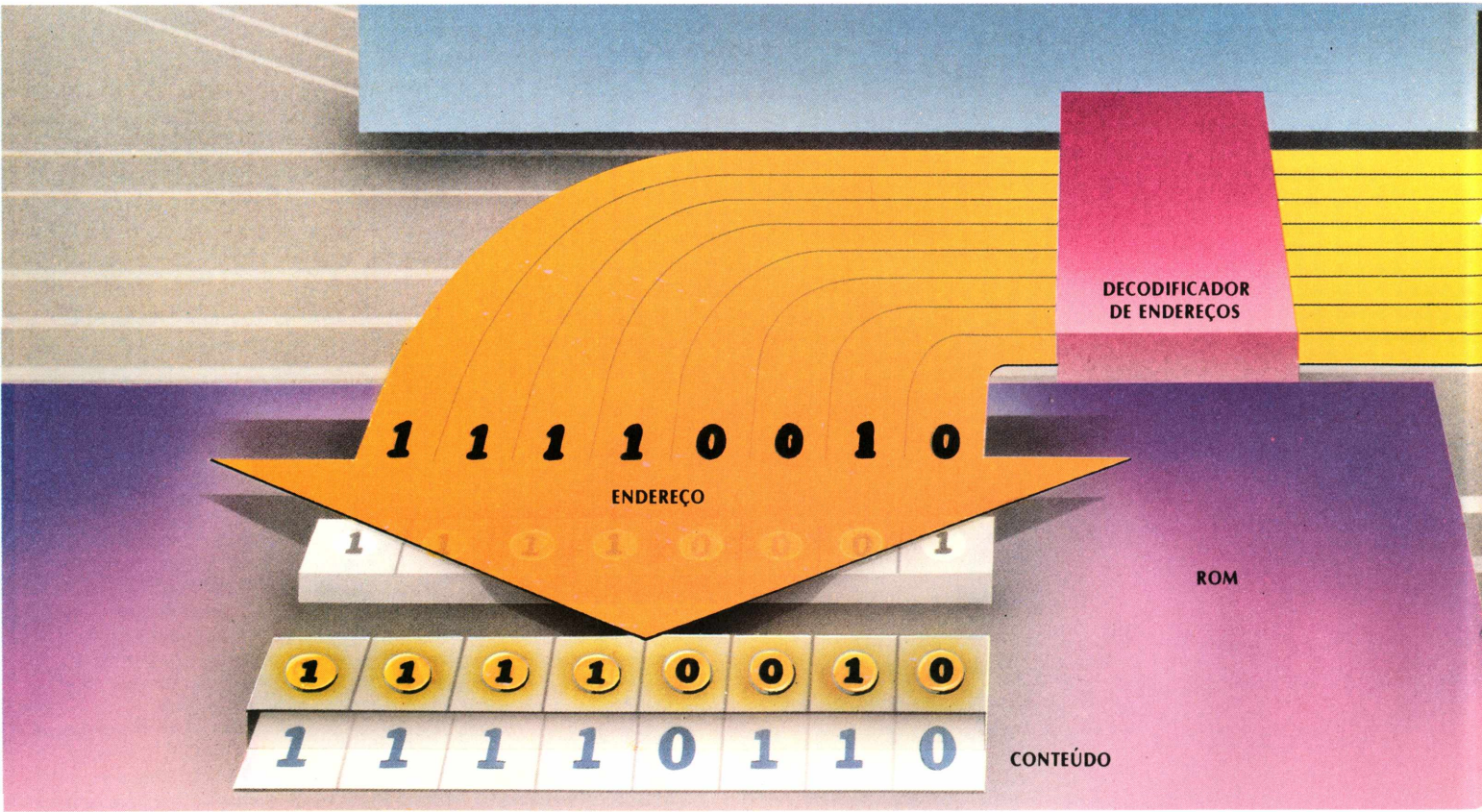
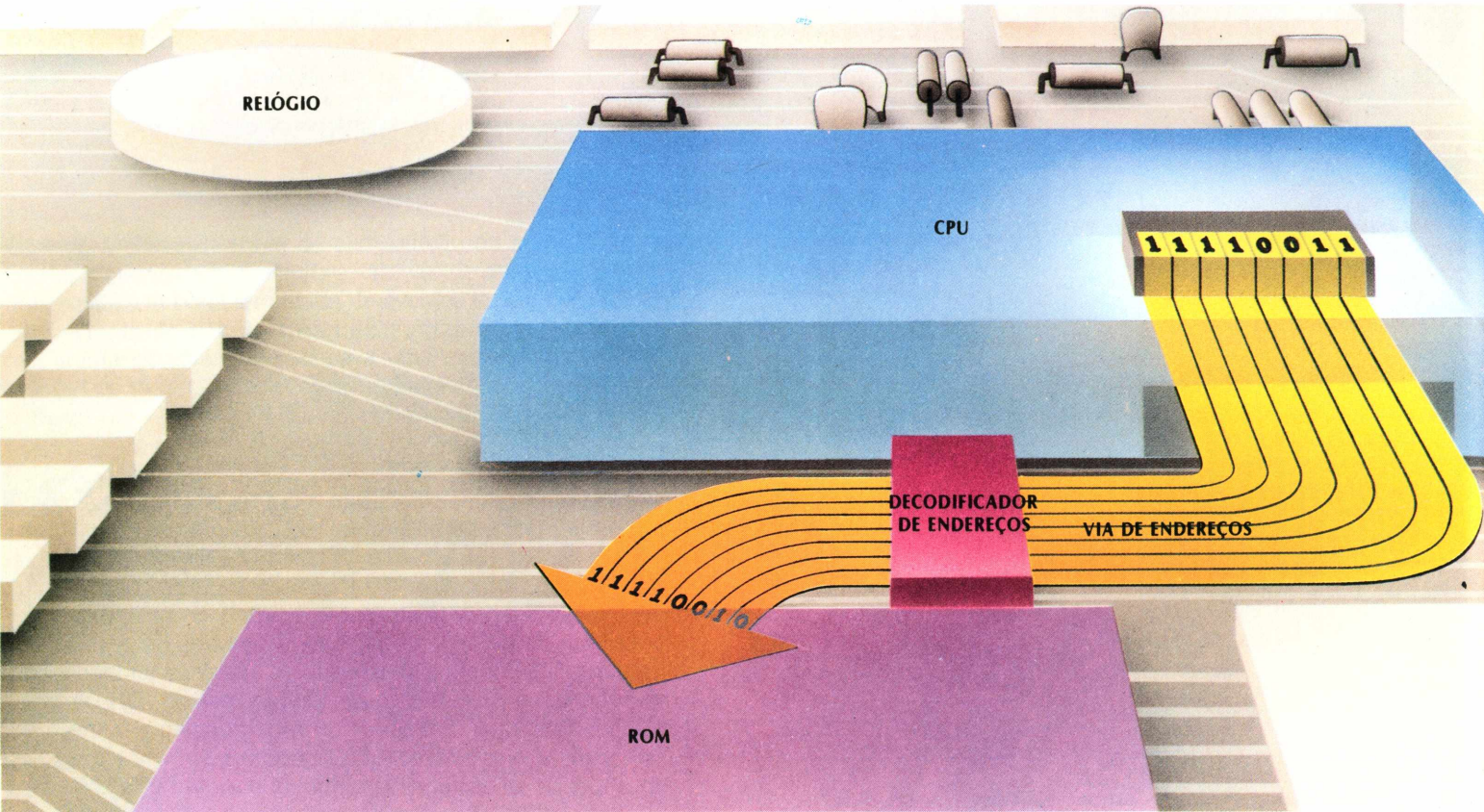
Tão logo o computador é ligado (*à direita, no alto*), uma quantidade enorme de ações é executada tão rapidamente que parecem quase simultâneas. O primeiro pulso do relógio dispara o sinal *reset*, zerando todo o conteúdo do contador de programa. Este, que age como um despachante, informa à CPU onde procurar sua próxima instrução. Na pulsação seguinte do relógio (*à direita*), um endereço prefixado aparece subitamente no contador de programa.

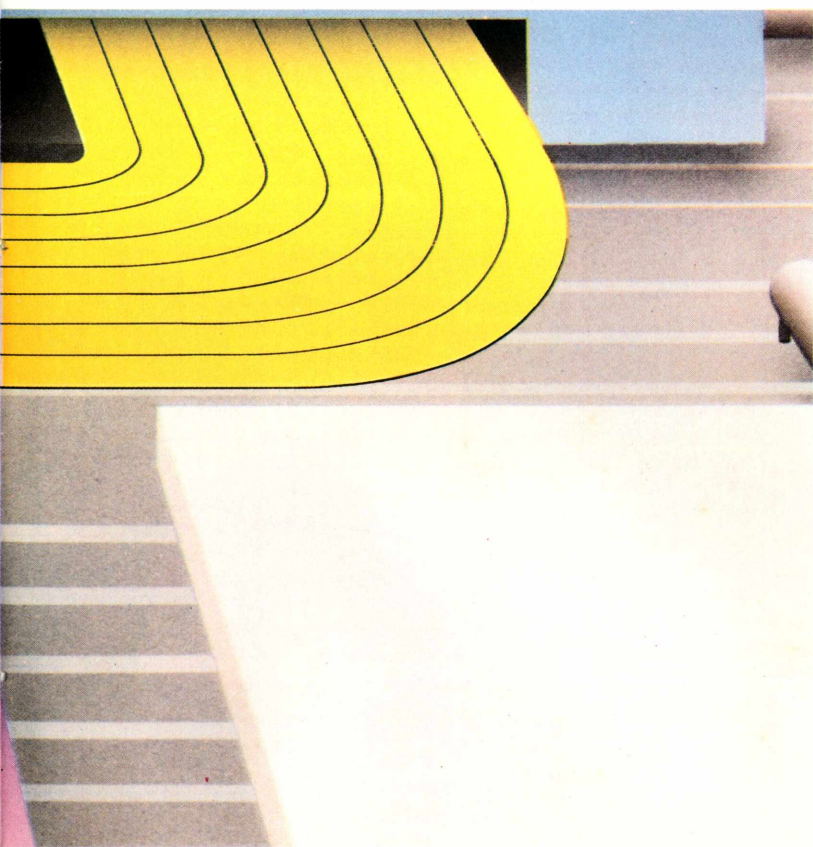
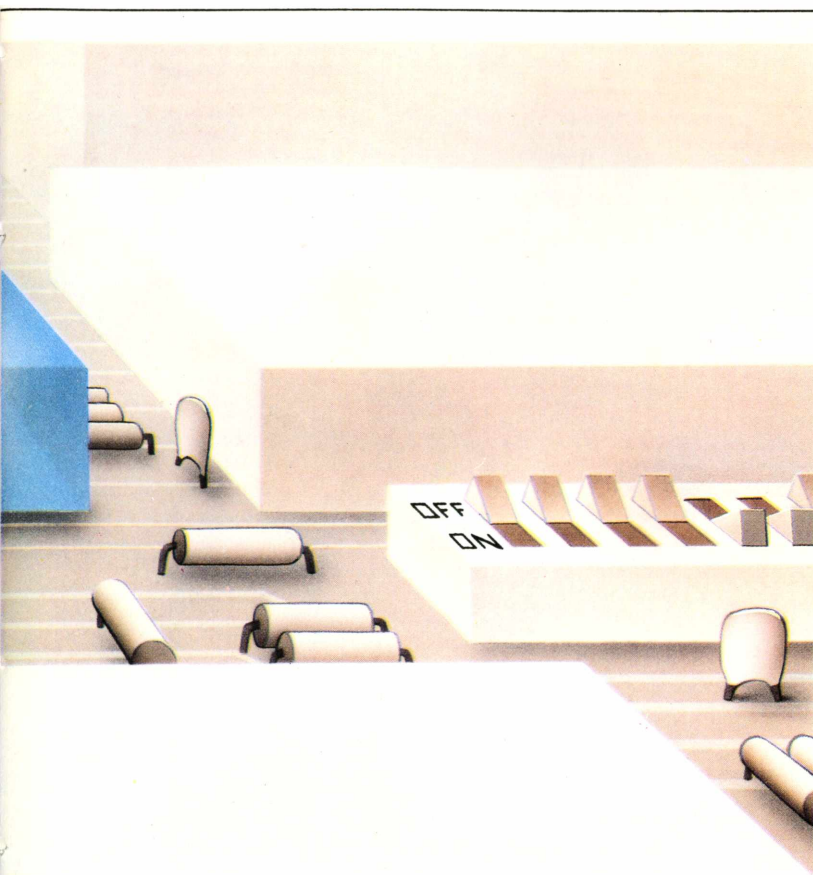
Neste exemplo, o endereço serve para uma localização em ROM, onde a primeira instrução codificada de um programa de reinício está permanentemente localizada. Na próxima pulsação do relógio, a CPU copia o endereço (11110010) — localizado no contador de programa —, na via de endereços (*faixa amarela*). Ao término do pulso, o próximo endereço da seqüência aparecerá no contador do programa (11110011).





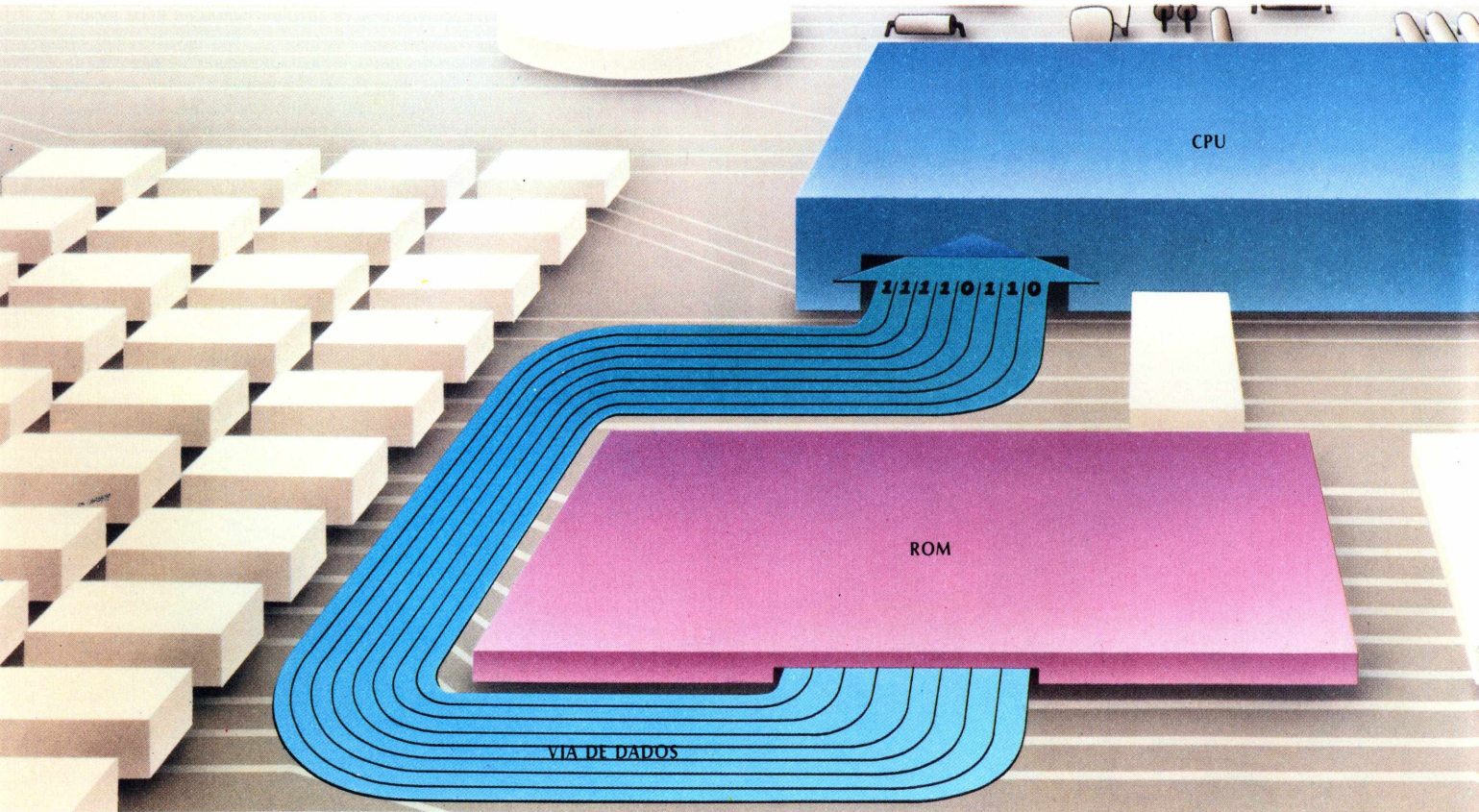
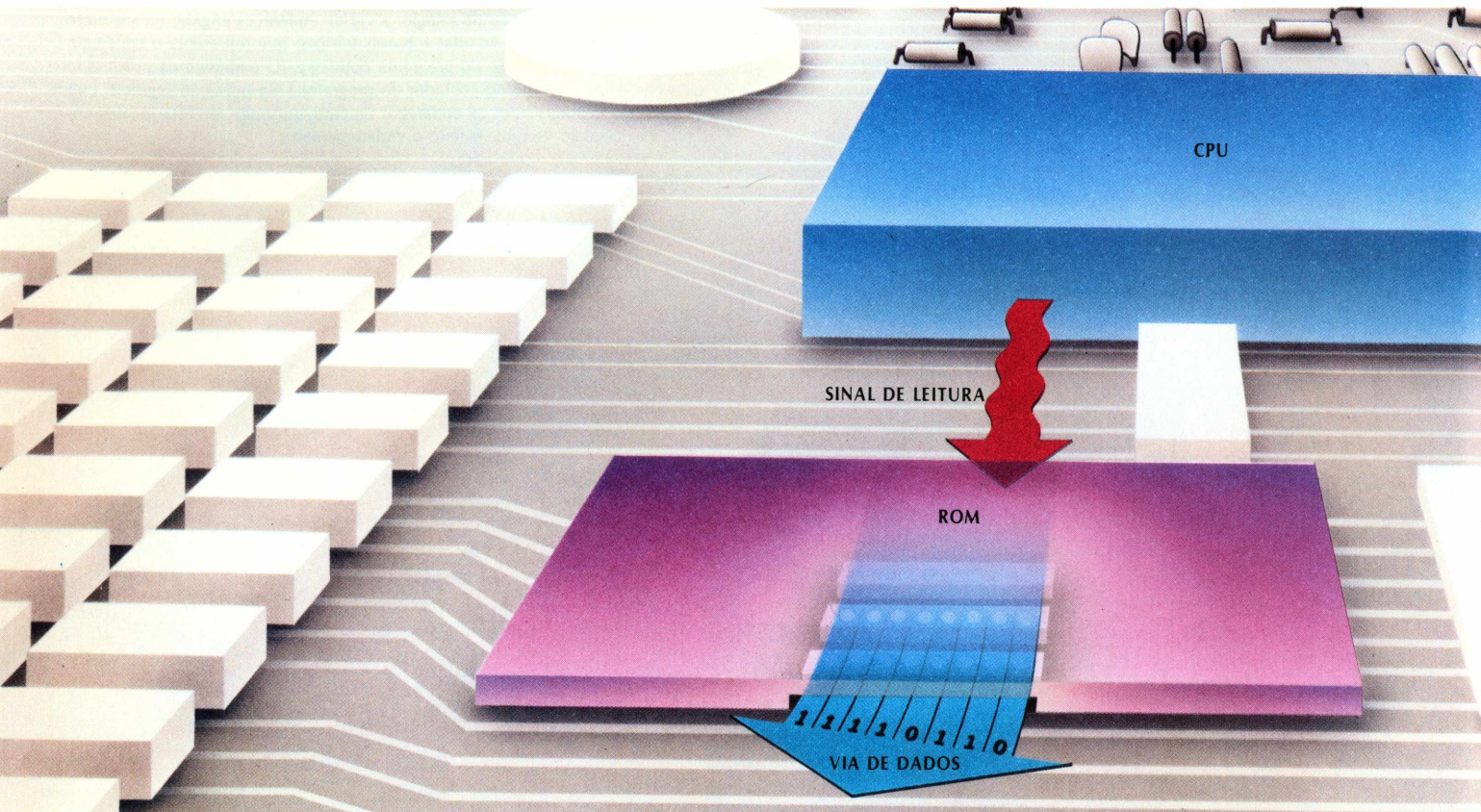
Anatomia de um microcomputador

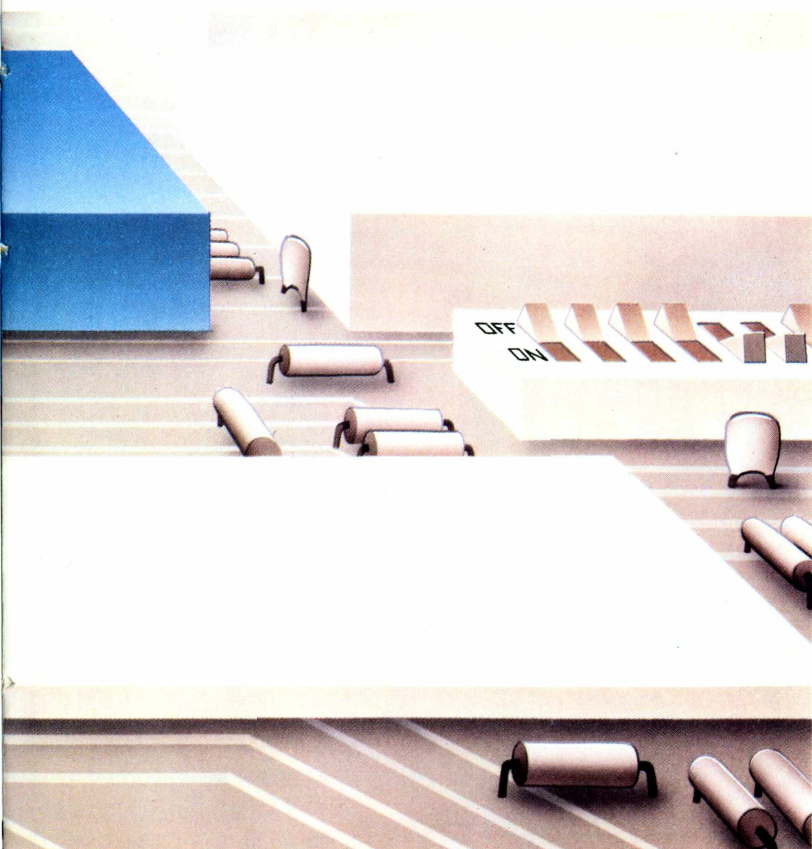
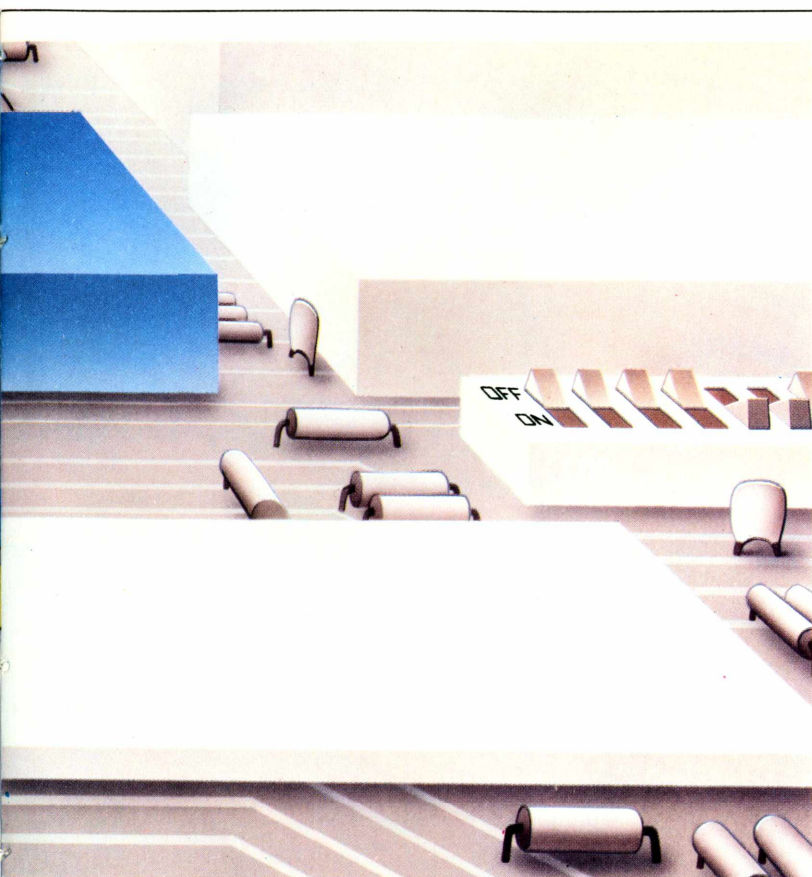




Numa nova pulsação do relógio, a via de endereços engata, ou segura, o padrão de oito bits de altas e baixas tensões, que representa o endereço da primeira instrução do programa *bootstrap*. (O endereço da próxima instrução está pronto no contador do programa.) Na pulsação seguinte, circuitos do decodificador de endereços determinam onde ele está localizado. Na pulsação seguinte é feito o endereçamento.

À medida que o relógio emite pulsos, os circuitos dentro da ROM localizam o endereço (*círculos em amarelo claro*) no CI selecionado. Como aparece na figura, a cadeia binária que representa o endereço é diferente da cadeia que representa o seu conteúdo: um dos endereços refere-se ao lugar onde os dados são armazenados, e não aos próprios dados. Neste caso, a cadeia de oito *bits* do conteúdo é a codificação binária da primeira instrução na sequência que "desperta" o computador. A CPU desejará "ler" essa informação mas deve esperar por um sinal especial e pela pulsação do relógio.





Na pulsação seguinte do relógio, a CPU transmite o sinal de leitura para o chip ROM que, instantaneamente, transfere o conteúdo para a via de dados. Essa elaborada coreografia de sinais de controle e pulsos de relógio é necessária para assegurar que nada será enviado aos fios da via até que uma destinação esteja pronta para recebê-lo. Dirigindo-se o pulso do relógio e o sinal de leitura através de uma porta AND booleana, impede-se que os dados sejam inseridos na via, a menos que tanto o pulso como o sinal sejam logicamente VERDADEIROS.

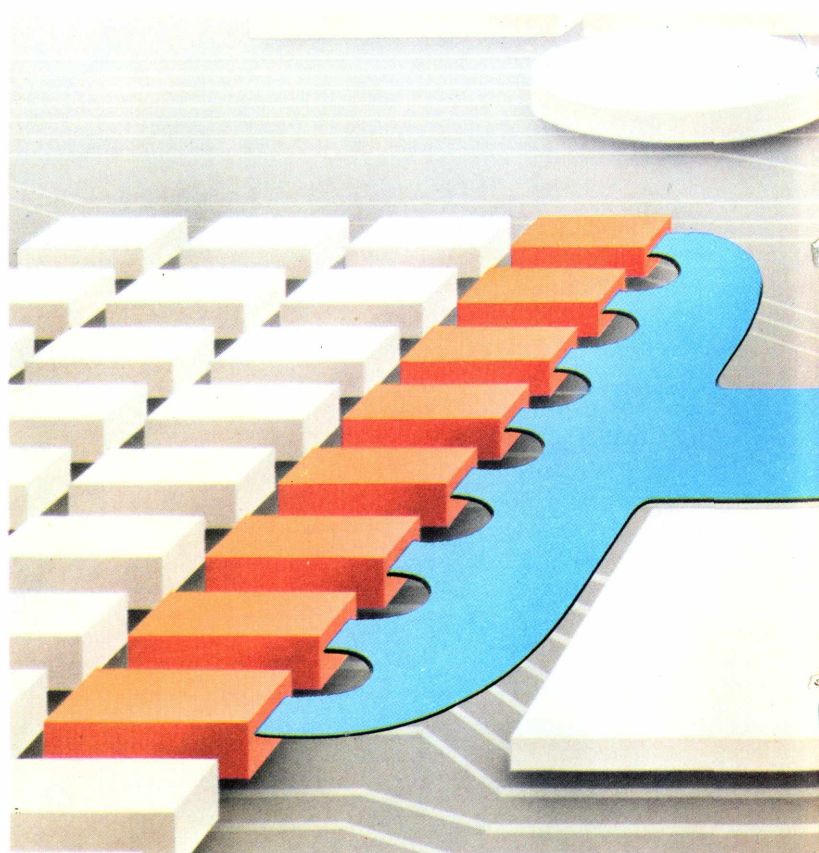
Uma vez na via, o byte de dados selecionado deste endereço inicial na ROM retrocede até a CPU. Na pulsação seguinte do relógio, a CPU apanha o byte de dados da via e o remete aos seus registradores internos. Por ser este o primeiro segmento de dados que a CPU recebe desde que o computador foi ligado, ela o interpreta como instruções a serem decodificadas, na próxima pulsação do relógio, por um registrador especial denominado decodificador de instruções. Essa sequência — contador do programa, via de endereços, ROM, via de dados, decodificação de instruções — se repetirá centenas de vezes até que todos os bytes que formarão as instruções para “despertar” o computador tenham sido transportados, individualmente, à CPU, e executados.

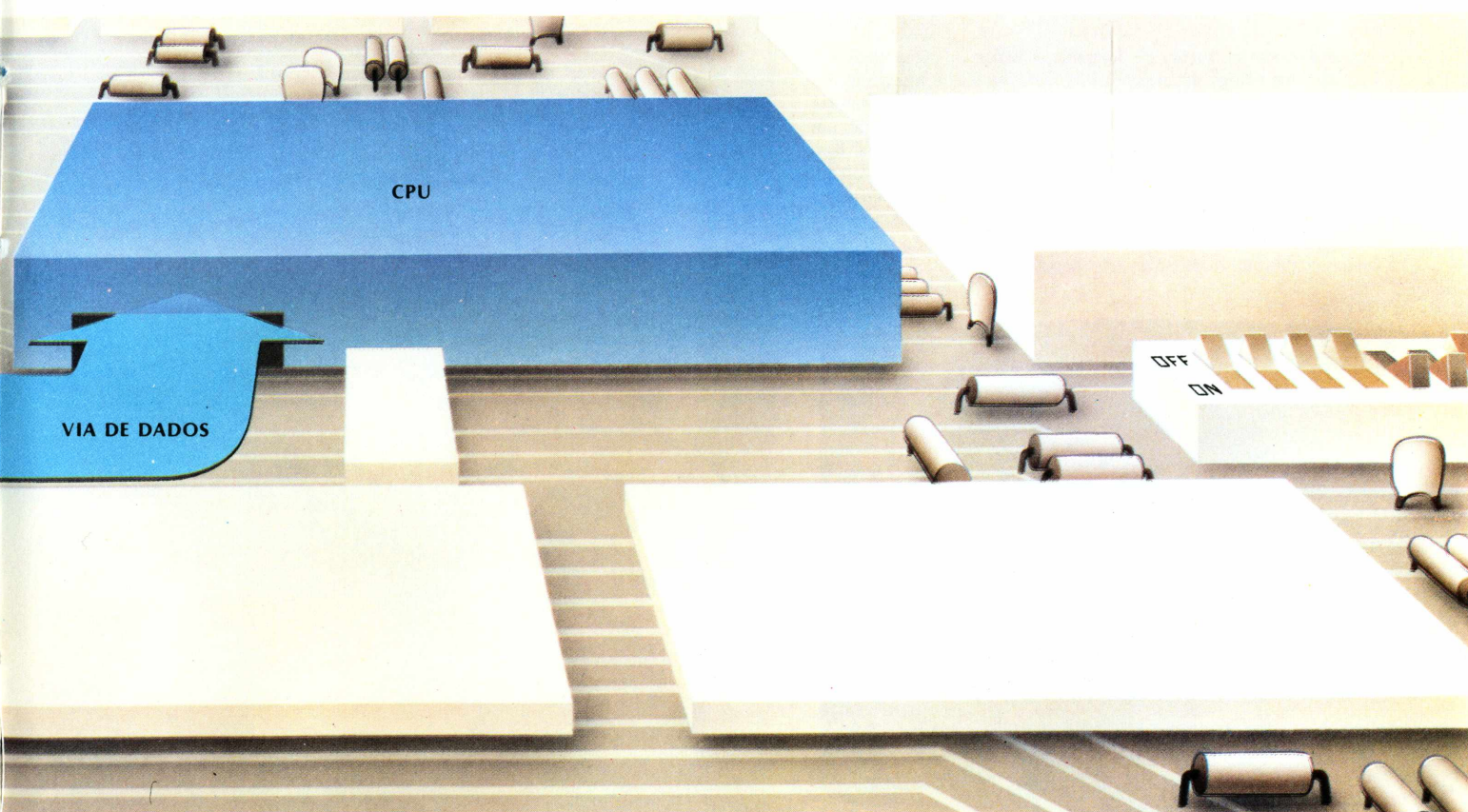
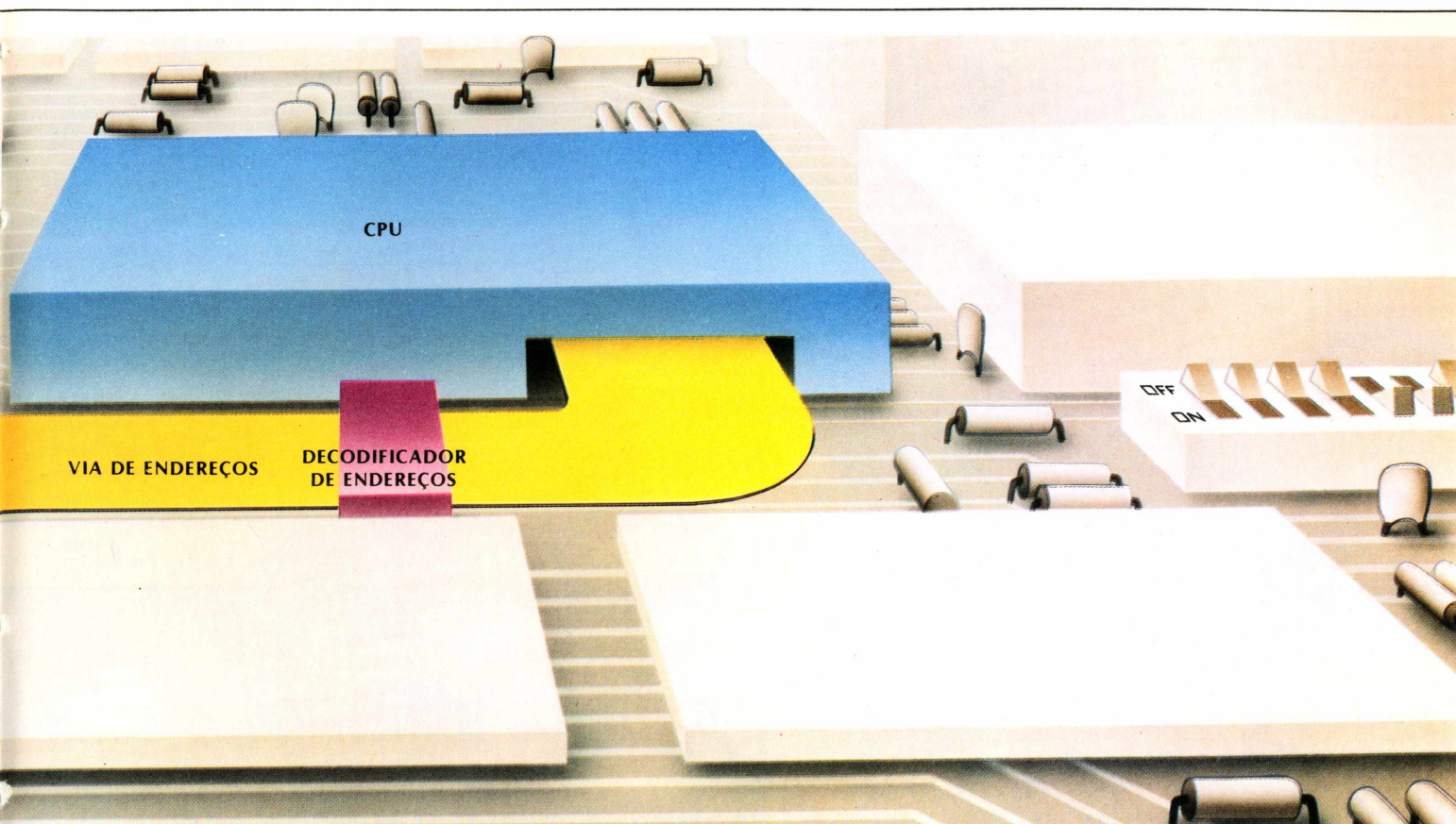
O programa bootstrap em operação

A rotina ilustrada à direita mostra o computador checkando uma cadeia de RAMs ou memórias para leitura e gravação, para verificar se os CIs se encontram ou não em bom estado. O processo constitui-se de milhões de atos separados e, dependendo da quantidade de memória do computador, pode demorar vários segundos até se completar. A checagem das RAMs é um procedimento complexo por duas razões. Primeiro, um CI de RAM pode reter, tipicamente, 64 K de informações. Na simbologia taquigráfica de computadores, K representa 1 024 bits — significando então que um único CI pode armazenar 65 536 bits. Segundo, esses minúsculos chips de alta densidade armazenam informações eletrônicas de uma maneira completamente diferente daquela pela qual as informações são armazenadas em ROM. Como está ilustrado nas páginas 52 a 55, a unidade de informação, de 8 bits, que a CPU lê na ROM é guardada num único CI de ROM. Na RAM, os 8 bits que formam uma unidade de dados são mantidos em oito CIs diferentes, numa seqüência fixa. Esse método permite, ao planejador, fazer o uso mais eficiente possível do espaço do armazenamento e do arranjo dos fios na placa do sistema.

Para certificar-se de que não há CIs defeituosos na RAM, a CPU envia, para um determinado endereço, um programa de teste de dados pela via de endereços (*amarelo*). O decodificador de endereços alerta os oito CIs informando-os de que cada um deles abrigará um bit de dados. Armazena, então, os bits nesses CIs. Em seguida, a CPU solicita a leitura dos dados recém-armazenados. O decodificador alerta os oito CIs para que cada um deles envie um bit pela via de dados (*azul*) até a CPU. A CPU compara o byte resultante com aquele enviado: os dois devem ser idênticos. Para testar completamente um CI, a CPU repetirá esse teste 65 536 vezes. Naturalmente, nesse processo os outros sete CIs da RAM terão sido igualmente checkados.

No teste da memória para leitura e gravação, a CPU “escreve”, ou envia, uma amostra de segmento de dados em cada localização (no alto). Para escrever um byte de dados na RAM, o decodificador de endereços procura oito CIs separados, cada um dos quais armazena um bit; juntos, esses oito CIs formam um endereço. Quando os dados de teste estiverem armazenados na RAM durante uma fração de segundo, a CPU sinalizará que deseja ler esses dados em um de seus registradores (*à direita*). Os CIs que contêm, cada um, um bit do byte da amostra os colocam na via de dados. O byte é remetido de volta à CPU, para comparação, e o ciclo se repetirá até que todos os CIs tenham sido examinados.



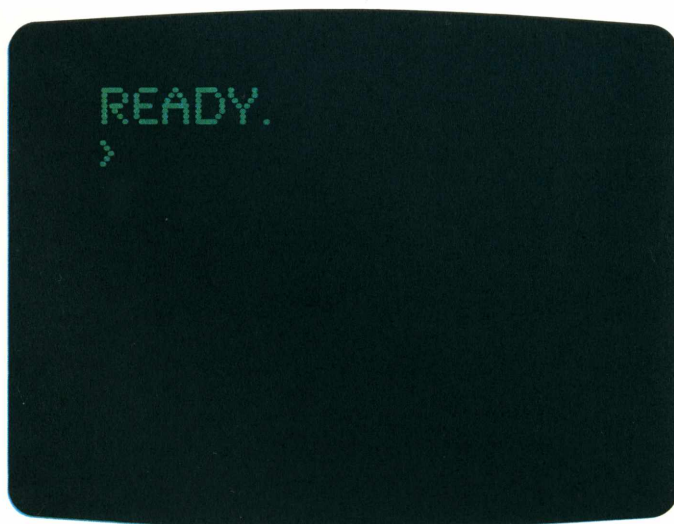


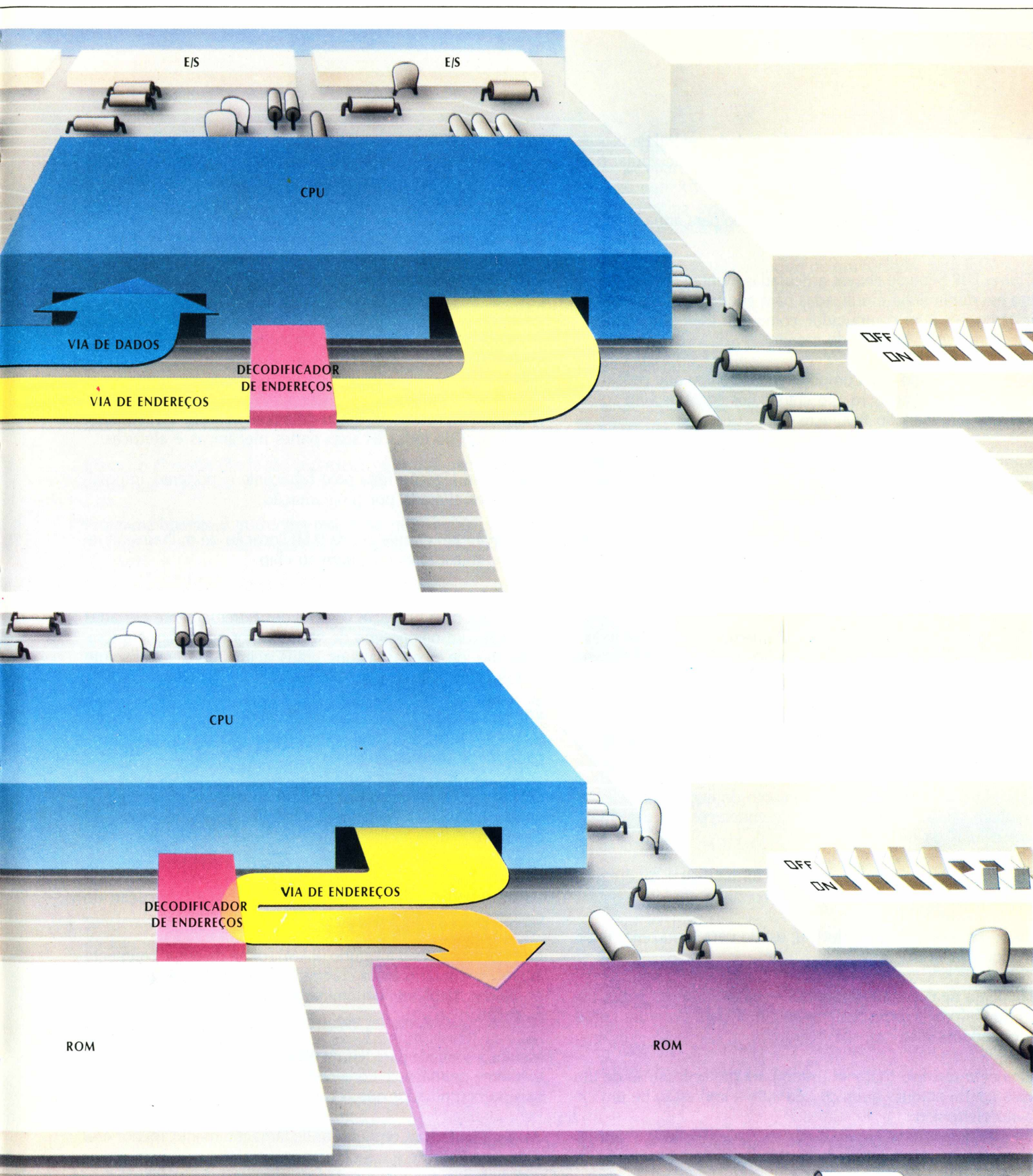
Anatomia de um microcomputador

Depois de examinar seu banco de CIs de memória, o sistema aqui ilustrado executará uma checagem semelhante de suas portas de entrada e saída (E/S). O programa que controla essa atividade é obtido, uma instrução de cada vez, da forma apresentada nas páginas 50 a 57. A CPU envia, então, uma série de sinais repetitivos às portas ao longo do painel traseiro da placa do sistema. Individualmente, são testadas as portas para o monitor, para a impressora e para os outros acessórios.



As últimas e poucas instruções do programa *bootstrap* do computador pedem à CPU para “dirigir-se” até um CI de ROM especial e recuperar aí a instrução seguinte. Esse CI contém uma linguagem residente, normalmente o BASIC, ou um programa residente destinado ao usuário, tal como um processador de texto. Poucos segundos depois de o computador estar ligado (tempo suficiente para se executar todo o programa *bootstrap*), o controle da máquina passa para esse programa ou linguagem. Uma mensagem aparece no monitor, indicando que o computador está pronto para funcionar. A mensagem difere de um tipo de máquina para outro; são freqüentes os cumprimentos amistosos, como este simpático READY.





Glossário

Acumulador Registrador interno da unidade central de processamento (CPU) de um computador, usado para acumular o resultado de uma operação aritmética ou lógica.

Capacitor Componente eletrônico utilizado para armazenar cargas elétricas.

Chaves DIP Série de chaves articuladas montadas num invólucro em dupla linha e utilizadas para codificar vários tipos de informações num computador, como, por exemplo: quantidade de memória ou tipo de monitor.

Circuito integrado (CI) Componente eletrônico que possui, no interior de seu invólucro, um chip, cujos contatos vêm soldados aos terminais do invólucro.

Comando Dispositivo que põe em movimento uma seqüência programada de instruções dirigidas a um computador, como, por exemplo, PRINT ou COPY.

Computador de grande porte O maior tipo de computador, geralmente capaz de servir, ao mesmo tempo, a muitos usuários, e com velocidade de processamento cem vezes maior que a de um microcomputador.

Contador de programa Registrador interno da CPU que indica o endereço de memória da instrução seguinte de um programa a ser executado pela unidade central de processamento.

Cursor Marca luminosa móvel que aparece na tela do monitor para indicar o lugar onde está situado o próximo caractere a ser introduzido no sistema do computador.

Decodificador de endereços Conjunto de circuitos que encaminham sinais, ao longo da via de endereços, até determinadas células da memória.

Digitalizar Representar os dados em forma digital, ou discreta; ou converter um sinal analógico, ou contínuo, em forma digital.

Disquete Pequeno disco flexível, usado para armazenar informações ou instruções.

Elemento de dopagem Impureza — na maioria das vezes, boro ou fósforo — acrescentada ao silício para acentuar certas propriedades elétricas.

Elemento resistivo Material usado para proteger partes de um chip contra ataques químicos, durante a impressão de um circuito eletrônico.

Endereço Posição de uma determinada célula na memória do computador.

Estado sólido Relativo a dispositivos eletrônicos cujo funcionamento depende do controle dos fenômenos elétricos ou magnéticos que ocorrem nos sólidos, tais como os transistores, os circuitos integrados etc.

Fonte de alimentação Dispositivo para converter corrente alternada, vinda da rede elétrica, em corrente contínua, necessária para o acionamento dos circuitos eletrônicos de um computador.

Gravação Processo pelo qual um computador registra dados na memória ou em dispositivos de armazenamento externo ou exibição.

Hardware Equipamento físico de um sistema de computador, constituído de todas as suas partes mecânicas e elétricas.

Hard-wired Ligação feita pelo fabricante e, portanto, impossível de ser alterada por programação.

Integração em grande escala (LSI) Locação de milhares de resistores, transistores etc., num só chip.

Junção Josephson Classe experimental de circuitos integrados, projetados para operar a velocidades extremamente elevadas (cerca de um bilionésimo de segundo por operação) e a temperaturas de apenas alguns graus acima do zero absoluto ($-459,7^{\circ}$ F).

Kilobyte (K byte) Unidade de medida que significa 1 024 bytes (1 024 é 1 K, ou 2^{10}) freqüentemente usada como medida de capacidade de memória.

Linguagem de máquina Conjunto de instruções em código binário, entendidas pelo computador sem necessidade de tradução.

Máscara Elemento de proteção usado para blindar certas partes da superfície de um chip silício durante a fabricação do circuito eletrônico.

Memórias de acesso aleatório (RAM) Forma de armazenamento interno temporário cujos conteúdos o usuário pode recuperar e alterar; também denominada memória para leitura e gravação.

Memória somente para leitura (ROM) Forma de armazenamento interno permanente contendo dados ou instruções operacionais do computador que o usuário pode ler mas não alterar.

Minicomputador Computador de tamanho médio, menor que o de grande porte e cuja memória, geralmente, é bem maior que a de um microcomputador.

Modem Dispositivo (modulador/demodulador) graças ao qual se pode transmitir dados entre computadores, geralmente através de linhas telefônicas e, às vezes, de cabos de fibras ópticas e de radiofrequências.

Monitor Dispositivo de saída, similar à televisão, para exibição de dados.

MOS Veja **semicondutor de óxido metálico**.

Nanossegundo Unidade de medida da velocidade operacional do computador (um bilionésimo de segundo).

Paralelo Relativo a dados ou instruções processados a vários bits por vez, e não a um só a cada vez.

Placa de circuitos Onde são montados os componentes eletrônicos que fazem parte de um circuito.

Programa bootstrap Instruções residentes que entram em ação quando o computador é ligado e preparado para executar operações.

Registrador Circuito especial, na unidade central de processamento, como por exemplo o acumulador ou o contador de programa, que tanto pode reter um valor quanto executar uma operação aritmética ou lógica.

Relógio Dispositivo, geralmente constituído de um cristal de quartzo, que emite pulsos regulares, usados para coordenar as operações de um computador.

Reset Ato de zerar os registradores de uma unidade central de processamento, isto é, “limpá-los”, para dar reinício às operações no computador.

Resistor Componente usado num circuito eletrônico para limitar a passagem da corrente elétrica.

Semicondutor de óxido metálico (MOS) Tecnologia empregada na construção de circuitos integrados que utiliza camadas de metal condutor, material semicondutor e dióxido de silício como isolante.

Serial Relativo a dados ou instruções processados em sequência, a um bit por vez, e não em paralelo (vários bits de cada vez).

Simulação Programa de computador que manipula as variáveis mais significativas de um problema ou situação para mostrar como uma mudança numa variável afeta os resultados: recriação de uma dada situação por intermédio de sons realistas e exibição visual.

Sistema operacional Programa complexo utilizado para controlar, auxiliar ou supervisionar todos os outros programas executados num sistema de computador: conhecido como DOS (disk operating system, sistema operacional em disco) pela maioria dos usuários de microcomputadores.

Terminal Dispositivo composto de um teclado, para introduzir dados num computador, e de uma tela de vídeo — ou impressora — para receber dados do computador.

Trituração de números Processamento rápido de grandes quantidades de números.

Unidade de controle Circuito da CPU que seqüencia, interpreta e executa instruções.

Unidade de disco Mecanismo que gira o disco, e lê ou grava os dados.

Unidade lógico-aritmética Parte da unidade central de processamento que executa operações aritméticas e lógicas.

Vale do Silício Região da Califórnia, ao sul de San Francisco, Estados Unidos, centro da indústria de semicondutores desse país.

Via de controle Condutor que transporta pulsos de sincronização e de controle para todas as partes de um computador. Veja **vias**.

Via de dados Condutor que transporta dados para todas as partes de um computador. Veja **vias**.

Via de endereço Condutores que, num computador, transportam sinais utilizados basicamente para localizar um determinado endereço na memória.

Vias Condutores elétricos que transportam sinais por todo o computador.

Índice

Numerais em *itálico* indicam uma ilustração do assunto mencionado.

A

Allen, Paul 37-39
Altair 30, 32-39, 41; acessórios 39; limitações 37-38; nome 36; via 38-39
ALU (Unidade Lógica Aritmética) 20-21, 47
Apple, computador 31, 41-46; Apple I 43; Apple II 37, 43, 44, 45-46
Atari 44

B

Bardeen, John 8, 9, 10
BASIC (Código de Instrução Simbólica para todos os Propósitos do Principiante) para o Altair 37, 39
Bell Laboratories 8, 35. *Veja também* Transistores
Bootstrap (boot) 50-59
Brattain, Walter 8, 9, 10
Bunnell, David 38
Burroughs, computador da 36
Bushnell, Nolan 44

C

Chips. *Veja* CIs
CIs (circuitos integrados) 4-5, 17, 18-29; computador num só chip 20-21; custo 15-16; defeitos 16, 25, 28; desenvolvimento 11-12, 14-16; e computadores 12, 14-16; fabricação 10, 16-17, 22-29; miniaturização 14-17; MOS 16, 35; n-MOS 26-27; planejamento 16, 22-23; primeiros computadores a usar 36; RAM 18-19, 21; teste de 28-29, velocidade 14, 17; VLSI 16. *Veja também* Memória; Microprocessadores; Semicondutores
Commodore International 41-43, PET da 37, 42
Computadores, Clubes de 38, 42, 45
Computadores; e CIs 12, 14-16; estrutura e operação 47, 48-59; marcos fundamentais de 1953-1981 34-37;

non-von Neumann 15; num só chip 20-21. *Veja também* Microprocessadores.

Computadores pessoais 31. *Veja também* Microcomputadores

CPU (Unidade Central de Processamento) 20-21, 47-48; e bootstrapping 50, 53, 55; CI 14-16, 20-21

D

Decodificador de controle 20
Digital Equipment 36
DIP, chaves 49, 50, 51
Disco, unidades de 48
Dopagem de semicondutores 6-8, 11, 24-25
Dummer, G. W. A. 11

E

Eletrônicos, componentes 5-16. *Veja também* CIs; Relés; Transistores; Válvulas eletrônicas
ENIAC (Computador e Integrador Numérico Eletrônico) 5-6
Entrada/saída, circuitos de 21; dispositivos de 48; portas de 49, 58-59
Espacial dos EUA, programa 11, 14

F

Faggin, Federico 15
Fairchild Semiconductor 12, 14
Felsenstein, Lee 45
Forrester, Jay 34
Fotolitografia 22-23, 26-27

G

Gates, William 37, 38
Germânio 5, 7; custo do 11
Gray, Stephen E. 32

H

Hackers 31
Hewlett-Packard 16, 44; superchip da 40, 41

Hoerni, Jean 12, 35
Hoff, Marcian Edward, Jr. (Ted) 15-16, 36
Hofstein, Steven 35
Homebrew Computer Club 42, 45

I

IBM; modelo 650 34; microcomputador (PC) 31, 37, 44, 46
IMSAI (Associação Científica para Administração de Informações, Incorporada) 40-41
Intel; 4004 16, 36, 40; 8008 33; 8080 33, 40; e chips de memória 14-15
International Business Machines Corporation. *Veja* IBM
Interruptores; biológicos 16; elétricos e eletrônicos 6-7; junção de Josephson 16; ópticos 16. *Veja também* Circuitos elétricos dos computadores; Eletrônicos, componentes

J

Jobs, Steven 42-46
Josephson, junção de 16

K

Kilby, Jack St. Clair 11-12, 35
Kilobit 15

L

Lehovec, Kurt 14, 35
Leininger, Steven 42-43, 44
Lógicos, circuitos; CI 13-14
Lógicas, portas 13

M

Mark-8 33, 35
Markkula, A. C. 46
Mazor, Stanley 15
McVeigh, John 37
Memória 47; decodificador de endereços 18-19, 49, 56; de núcleo magnético 14, 34; desenvolvimento 14;

Morrow, George 38; semicondutores 12. *Veja também* RAM; ROM Microchips. *Veja* CIs; Microprocessadores

Microcomputadores 30; clubes 38, 42, 44; crescimento do mercado 31, 46; depois do Altair 39-46; e o Altair 33-39; estrutura e operações 47, 48-59; marcos fundamentais 36-37; mudanças na indústria 39-41, 46; portátil 39, 44; primeiro boletim de notícias 37

Microprocessadores 15-16, 20-21; de 4 bits 40; de 8 bits 40; de 16 bits 40; 32 bits 40, 41; Intel 4004 16, 36, 40; Intel 8008 33; Intel 8080 33, 40, 42; marcos fundamentais 40-41; MOS Technology 6502 40, 45; Motorola 68000 40; nos microcomputadores 32; superchip da Hewlett-Packard 41, 41; velocidade 16, 40-41; Zilog Z-80 42

Microsoft, 39

Militares norte-americanos 11-12, 14

Millard, William 40-41

Mims, Forrest 33-36

Minicomputadores 32, 33, 35, 36

MITS 32, 34, 37-39

Modem 48

Monitor 48, 49

Morrow, George 38

MOS (semicondutor de óxido metálico) 16, 35; n-MOS 26-27

MOS Technology 6502 40, 42, 45

Motorola 6800 40

N

Noyce, Robert 12, 14, 35

O

Osborne I 45

P

PDP-8 36

Peddle, Chuck 42, 45

People's Computer Company 39

Pertec Computer Corporation 39

Processamento em paralelo 15

Processamento serial 47

PROM (memória somente para leitura programável) 21

Q

Quartzo, cristais de 48

R

Radio Shack. *Veja* Tandy Radio Shack
RAM (memória para leitura e gravação) 18-19, 20, 21, 49, 56; checagem da 56-57

RCA 15

Registros 21, 50-51

Relés 5

Relógio 21, 48-50, 53, 55. *Veja também* Quartzo, cristal de

Revista sobre microcomputadores 32, 39

Roberts, Edward 33-35, 36, 37-39

ROM (memória somente para leitura) 20, 21, 49; e bootstrap 50-57; PROM 21

S

Salsberg, Arthur 35

Scelbi Computer Consulting 32

Semicondutores 6-8; dopagem de 6-8, 10-11, 24-25; pesquisas sobre 7, 8-10.

Veja também Transistores

Shockley, William 8, 9, 10, 12

Silício 7; cristais (lingotes) de 8, 24; pastilhas de 24-25; transistor de 11

Sociedade de Amadores de Computadores 32

Software para microcomputadores 35, 37, 41

Solomon, Leslie 35-36

Supercondutividade 16

T

Tandy, Charles 42

Tandy Radio Shack 41; TRS-80 37, 42-43

Teal, Gordon 11, 34

Teclado 47, 48

Texas Instruments 11-12, 34; TMS 1000 20-21

TRADIC 35

Tramiel, Jack 42, 45

Transistores 5, 8-11; altamente miniaturizados 16; custo 11, 16; de contato de ponta 9; efeito de campo 35; estrutura 6-7, 8; fabricação 10-12, 26-27, 34; junção 6, 9-11; MOS 16, 35; n-MOS 26-27; operação 5; planar 7, 10, 12; porta E 13; primeiro comercialmente bem-sucedido 12; vantagens 10. *Veja também* CIs.

U

Unidade do sistema 48; placa 48, 49, 50

V

Vale do Silício 33

Válvulas eletrônicas 5-6; e o ENIAC 6
Vias 38, 50-51, 53; Altair-100 38; S-100 39

VisiCalc 37, 41

VLSI (Integração em Escala Muito Grande) 16

Von Neumann, John, arquitetura de 15

W

Wozniak, Steven 43-46

Z

Z-2 39

Zilog, Z-80 42

EDITOR
RICHARD CIVITA



NOVA CULTURAL

Presidente: Flávio Barros Pinto

Diretoria: Anselmo Pecci,

Pierluigi Bracco, Plácido

Nicoletto, Walter Thomé

REDAÇÃO

Diretor: Carmo Chagas

Editora Executiva: Stefania Crema

COMERCIAL

Diretor: Plácido Nicoletto

Gerente Comercial: Joaquim Celestino da Silva

Gerente de Circulação: Denise Mozol

Gerente de Propaganda e Promoções: José Carlos Mádio

Gerente de Pesquisa e Análise de Mercado: Wagner M.

P. Nabuco de Araújo

PRODUÇÃO EDITORIAL

Pedro Paulo Poppovic Consultores Editoriais S/C Ltda.

Diretor: Pedro Paulo Poppovic

Editora-chefe: Elzira Arantes

Editora: Elisabeth Justino Carastan

Arte: Masumi Guibu (chefe), Sônia Regina Aversa (diagramadora)

Projeto gráfico (capa): OZ Desenho e Associados

Coordenação de produção: Sônia Maria Pimentel

Colaboradores: Mathias Mendes Wolff (consultoria), Newton Roberval Eichemberg (tradução), Paula Siqueira (preparação)

A Editora Nova Cultural Ltda. é uma empresa do Grupo CLC — Comunicações, Lazer e Cultura.

Presidente: Richard Civita

Diretoria: Flávio Barros Pinto, João Gomez, Menahem M. Politi, Renê C. X. Santos, Stélio Alves Campos

TIME-LIFE BOOKS INC.

DIRETOR DA SÉRIE: Roberta Conlan

Programador visual: Ellen Robling

Editor associado (ilustrações): Robert G. Mason

Coordenador da série: Caroline A. Boubin

Pesquisadores: Ellise Ritter Gibson, Sara Mark, Barbara Moir, Marta A. Sanchez, Judith W. Shanks

Editores de texto: Russell B. Adams Jr., Donald Davison Cantlay

Assistente de programação visual: Robert K. Herndon

Coordenador de revisão: Anthony K. Pordes

Coordenador iconográfico: Renée DeSandies

Colaboradores especiais (texto): Ronald H. Bailey, Sarah Brash, Michael Kurland, Charles C. Smith, Marlene Zimmerman

CONSULTORES

ISABEL LIDA NIRENBERG trabalha no Computer Center da Universidade Estadual de Nova York.

UTA C. MERZBACH, matemático especializado na história da ciência; Curador do Smithsonian Institution's National Museum, desde 1963.

RICHARD MURRAY, professor assistente de Ciência da Computação no Union College, em Schenectady, Nova York.

Créditos das fotos

Os créditos das fotos e ilustrações estão separados da esquerda para a direita por ponto-e-vírgula, e de cima para baixo por travessão.

Capa: Larry Sherer. 4, 5: © Phillip A. Harrington/Peter Arnold, Inc. 6, 7: ilustração de Frederic F. Bigio, B-C Graphics. 9: cortesia AT&T Bell Laboratories - Yale Joel para *Life*. 10: cortesia Fairchild Camera and Instrument Corporation. 13: ilustração de Charles Williams. 15: © Phillip A. Harrington/Fran Heyl Associates. 17: © Phillip A. Harrington/Fran Heyl Associates. 18, 19: © Phillip A. Harrington/Fran Heyl Associates, cortesia de AT&T Technologies. 20, 21: ilustração de James Bandsuh, Nighthawk/Carol Chislovsky, Inc.; © Phillip A. Harrington/Fran Heyl Associates. 22, 23: ilustração de Charles Williams; © Dan McCoy/Rainbow. 24, 25: Motorola Inc. — © 1981 Harald Sund (2) 26, 27: ilustração de Charles Williams. 28, 29: © 1981 Harald Sund. 30: Forrest M. Mims III. 34, 35: IBM, Wayne Miller/Magnum (2). Texas Instruments, cortesia Kurt Lehovc, Ph.D. — The MIT Museum, cortesia Gordon Teal, Ph.D.; cortesia AT&T Bell Laboratories; RCA, exceto barra; ilustração de Matt McMullen. 36, 37: © 1980 Digital Equipment Corporation; © 1985, reimpressão com permissão de Intel Corporation; © William Thompson/Microsoft, IBM Archives — Burroughs Archives; © 1984 Forrest M. Mims III; Apple Computer, Inc.; Commodore Business Machines — Radio Shack, uma divisão da Tandy Corporation; Dan Cunningham, exceto barra; ilustração de Matt McMullen. 38: Herrington & Olson. 39: Library of Congress. 40, 41: © 1985, reimpresso com permissão de Intel Corporation (2); Dan Cunningham; Motorola, Inc.; Hewlett-Packard. 43: Apple Computer, Inc. 44: © Chuck O'Rear/Woodfin Camp. 47-59: ilustrações de Matt McMullen.

ISBN: 85-13-00084-1

