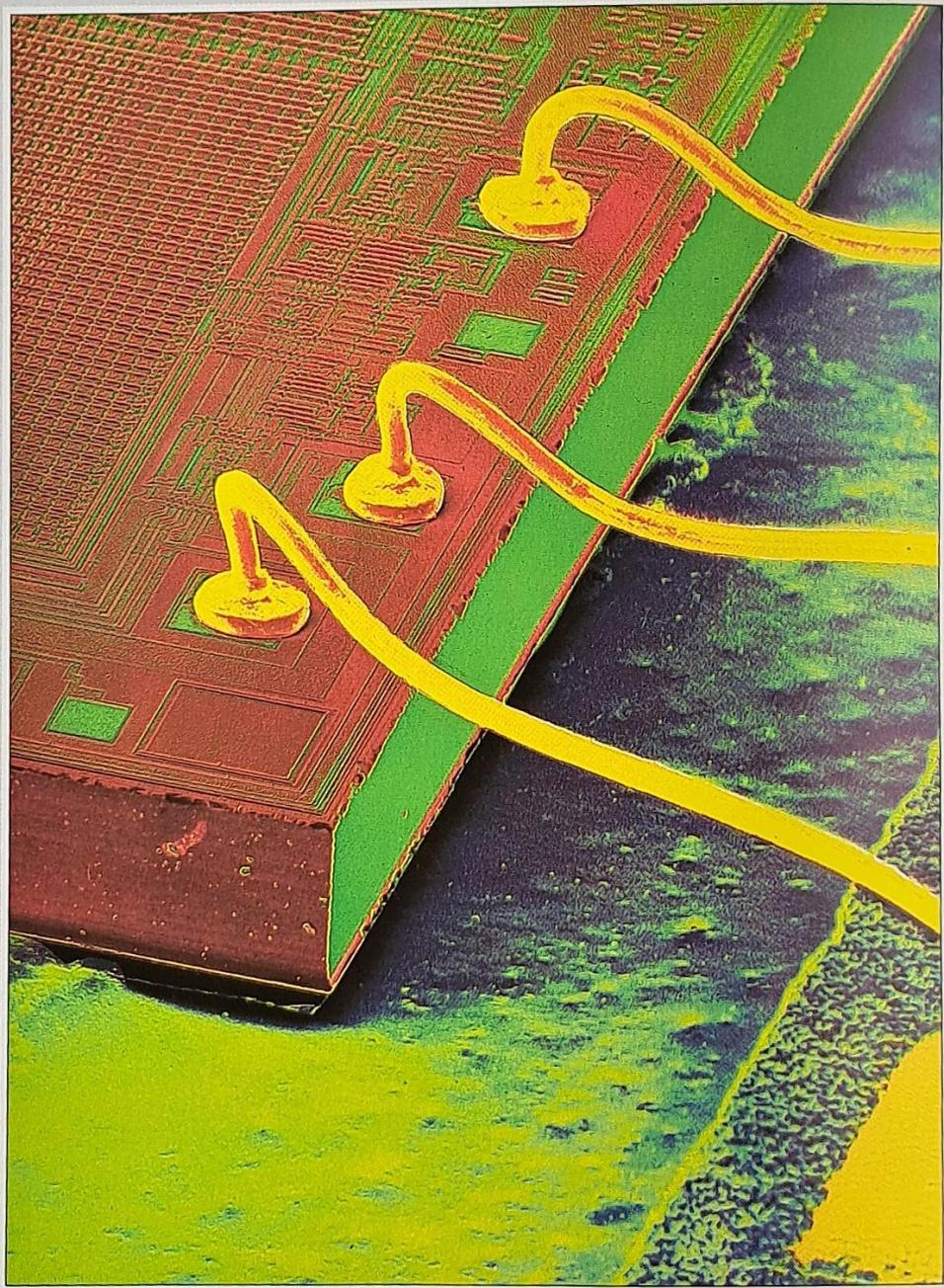


A NOVA ENCICLOPÉDIA DAS CIÊNCIAS

CIÊNCIA EM MOVIMENTO

Círculo de Leitores

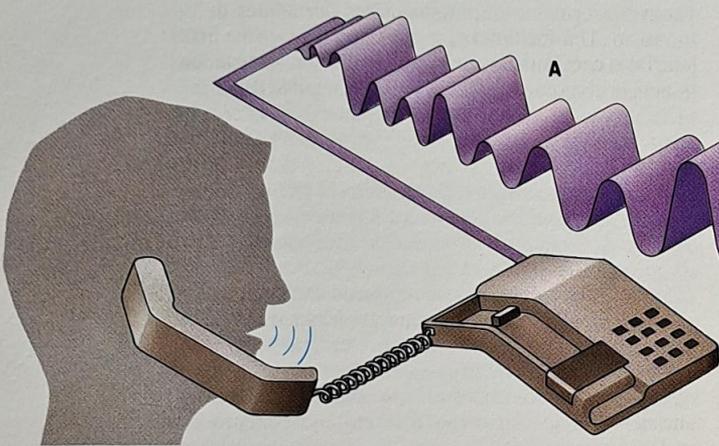


Fios de ouro puro ligam os minúsculos componentes de um chip de silício a um circuito integrado.

Na linha

Como se transmite informação através de uma rede telefónica

A rede telefónica mundial é a máquina mais complexa jamais construída. Encaminha cerca de 600 000 milhões de chamadas por ano entre uns 600 milhões de telefones e está constantemente a crescer em tamanho e sofisticação. Os sistemas actuais baseiam-se na tecnologia digital, que permite a transmissão de imagens e de dados informáticos, para além de conversas, com uma precisão e fiabilidade sem precedentes. As novas centrais digitais, que encaminham mais de 1,5 milhões de chamadas por hora através de uma grande variedade de ligações por cabos, fibras ópticas, rádio e microndas, proporcionam uma comunicação instantânea, de preço razoável e a nível mundial para todos.

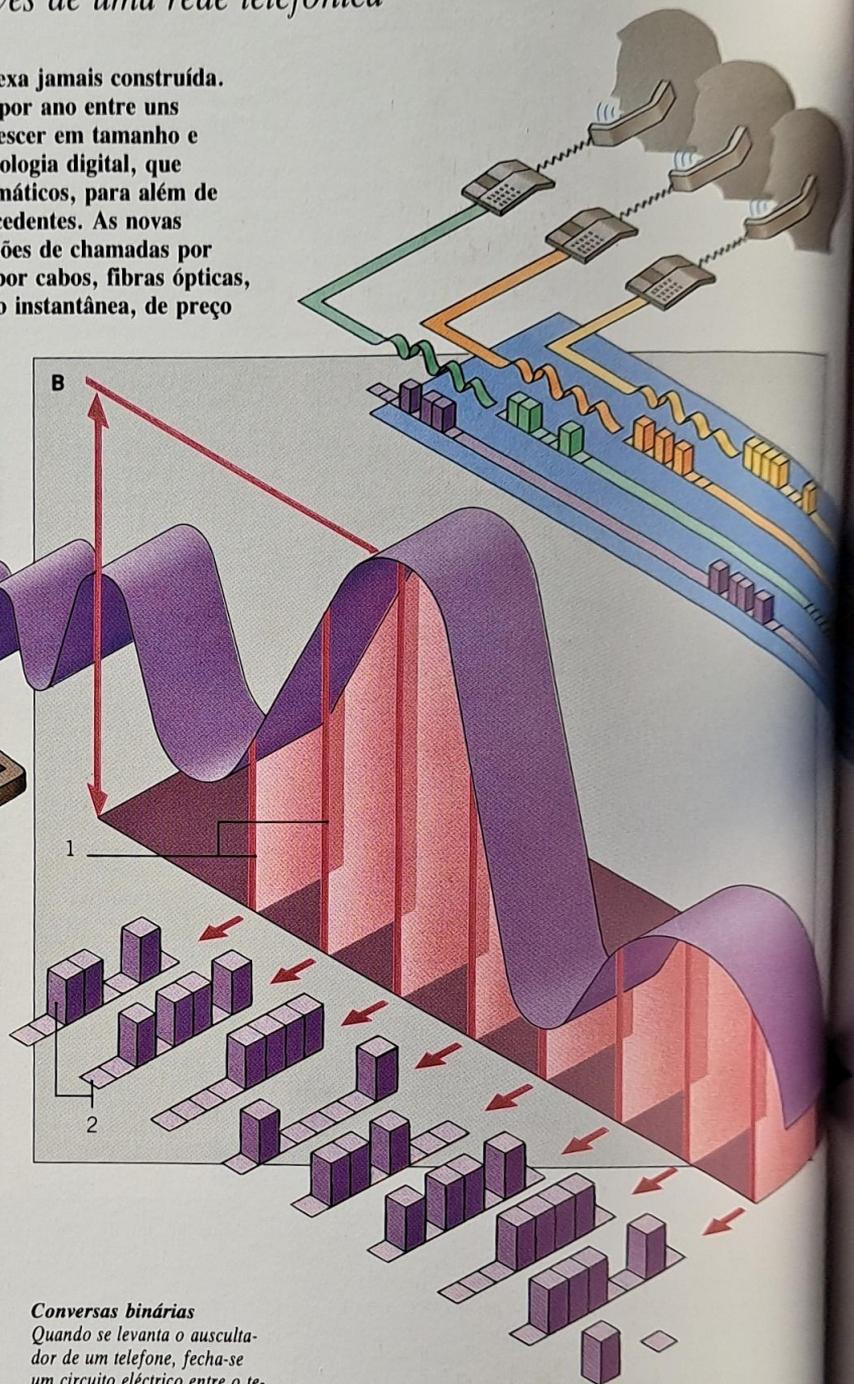


Os modernos sistemas telefónicos, conhecidos por PCM (Pulse Code Modulation — Modulação de Código de Impulsos), baseiam-se na conversão de ondas sonoras em informação digital, que é então transmitida através da rede.

A voz do emissor é captada por um microfone situado no bocal do telefone, que a transforma em corrente eléctrica oscilante. Este sinal *analógico* é enviado pela linha até à central local, onde passa por um interruptor electrónico, que permite que um curto impulso ou *amostra* do sinal analógico passe de 125 em 125 microssegundos. O sinal é, portanto, *amostrado* 8000 vezes por segundo — o suficiente para comunicar as sutilezas da voz humana.

A amplitude (ou intensidade) de cada impulso é então medida numa escala numérica, normalmente de 1 a 256. Cada número é convertido num código binário composto por oito dígitos. Esta sequência de *oito bits* é o código mais curto, que pode traduzir números até 256.

Estes códigos digitais passam então para um modulador, onde o sinal binário é marcado numa *onda portadora* eléctrica — utilizam-se portadoras de alta frequência para a transmissão rádio e de menores frequências para os cabos. A marcação toma a forma quer de amplitude quer de modulação de frequência, em que a amplitude/frequência da portadora varia em resposta ao código. Todo este processo é invertido no outro extremo da linha, onde a mensagem é desmodulada, decodificada e passa, através de um electrofón, por um diafragma metálico situado no receptor.



Conversas binárias

Quando se levanta o auscultador de um telefone, fecha-se um circuito eléctrico entre o telefone e o centro de controlo de ligações ou a central.

A energia eléctrica é fornecida pela central. O acesso à rede faz-se através de um código de ligação. Quando se selecciona cada dígito do código, uma combinação única de dois tons de uma só frequência passa pela linha até à central. Os tons activam um sistema de comutação automático que encaminha cada chamada para o seu destino. Quando se faz uma chamada numa grande cidade, a

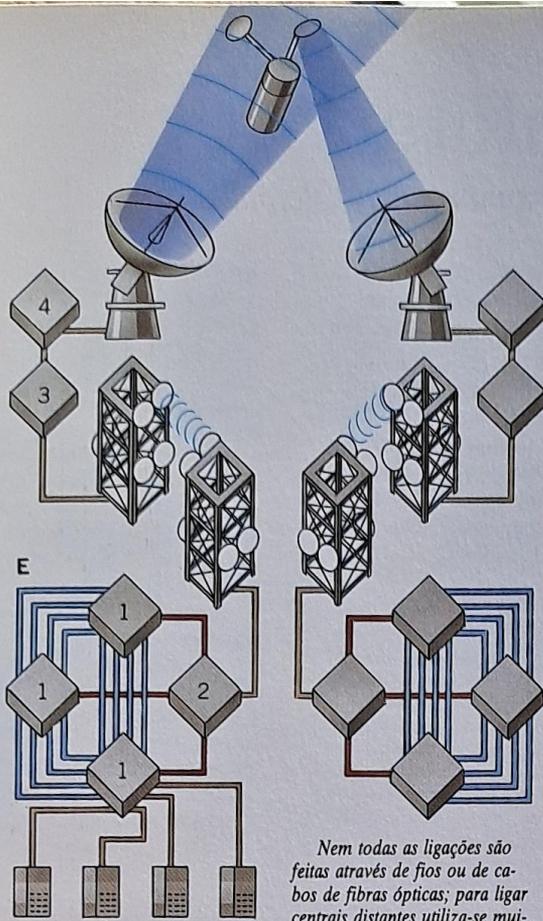
conversa é normalmente transmitida através de duas ou mais centrais.

Uma vez estabelecida a ligação, o telefone converte a voz do emissor numa voltagem continuamente variável — ou sinal analógico [A]. Este sinal passa ao longo de fios de cobre até à central local [B]. Aqui, o equipamento electrónico amostra o sinal [1] para o converter em forma digital. A intensidade do sinal analógico

é medida uma vez em cada 125 microssegundos ou 8000 vezes por segundo (se fossem menos, a voz humana começaria a apresentar falhas). Cada medição é em seguida transformada num código binário que compreende um conjunto de 8 bits independentes [2] — impulsos eléctricos que podem estar, cada um deles, presentes ou ausentes. Cada amostra de

Ligações globais

A rede telefónica é um sistema hierárquico [E]. No fundo da hierarquia estão os milhões de assinantes, directamente ligados a uma central local. Numa zona densamente povoada, numerosas centrais locais [1] estão interligadas, permitindo um elevado volume de chamadas dentro da cidade. As centrais locais estão também ligadas a centrais interurbanas [2], que, por sua vez, podem estar ligadas a outras centrais interurbanas ou a centrais regionais mais acima na hierarquia [3].



Nem todas as ligações são feitas através de fios ou de cabos de fibras ópticas; para ligar centrais distantes utiliza-se muitas vezes a transmissão por microondas. Por fim, as centrais internacionais [4] transmitem conversas entre países e continentes, cada vez mais através de satélites de telecomunicações em órbita.

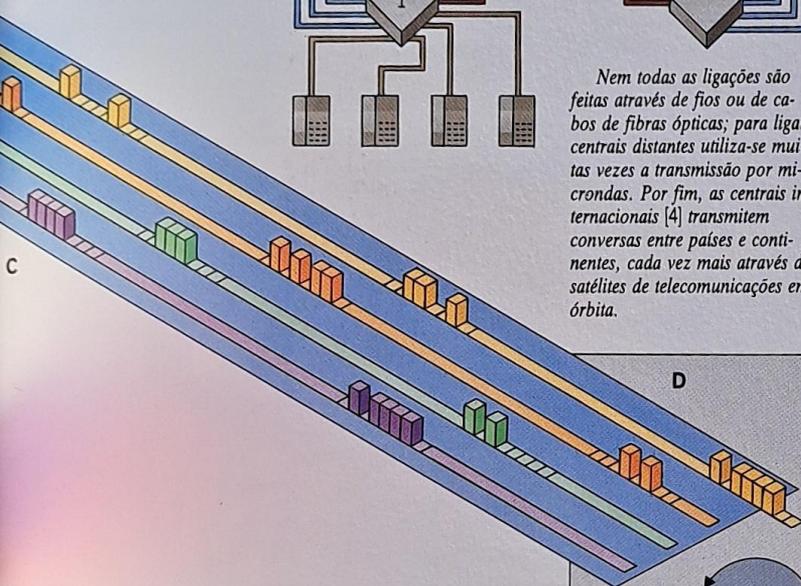
Mensagens misturadas

As linhas de longa distância representam um investimento considerável para uma companhia telefónica. Para maximizar a utilização das linhas entre centrais, faz-se com que cada canal transmita várias conversas em simultâneo. Neste processo, conhecido por *multiplex de tempo*, as diferentes conversas são misturadas de tal modo que possam ser desenredadas quando atingem o seu destino.

Uma conversa é transmitida sob a forma de uma série de impulsos digitais enviados ao longo de uma linha — a um ritmo de um por cada 125 microssegundos. Mas cada impulso tem apenas cerca de quatro microssegundos de duração, o que significa que existem «intervalos» de 121 microssegundos entre os impulsos portadores de informação. Um multiplexador electrónico preenche estes intervalos com impulsos de outras conversas. Actualmente podem transmitir-se cerca de 25 chamadas desta maneira, mas já existe tecnologia para centenas de chamadas numa única linha.

Para concentrar ainda mais o número de chamadas transmitidas ao mesmo tempo, numerosos grupos de *multiplex de tempo* podem ser enviados simultaneamente em portadoras de diferentes frequências, processo conhecido por *multiplex de frequência*.

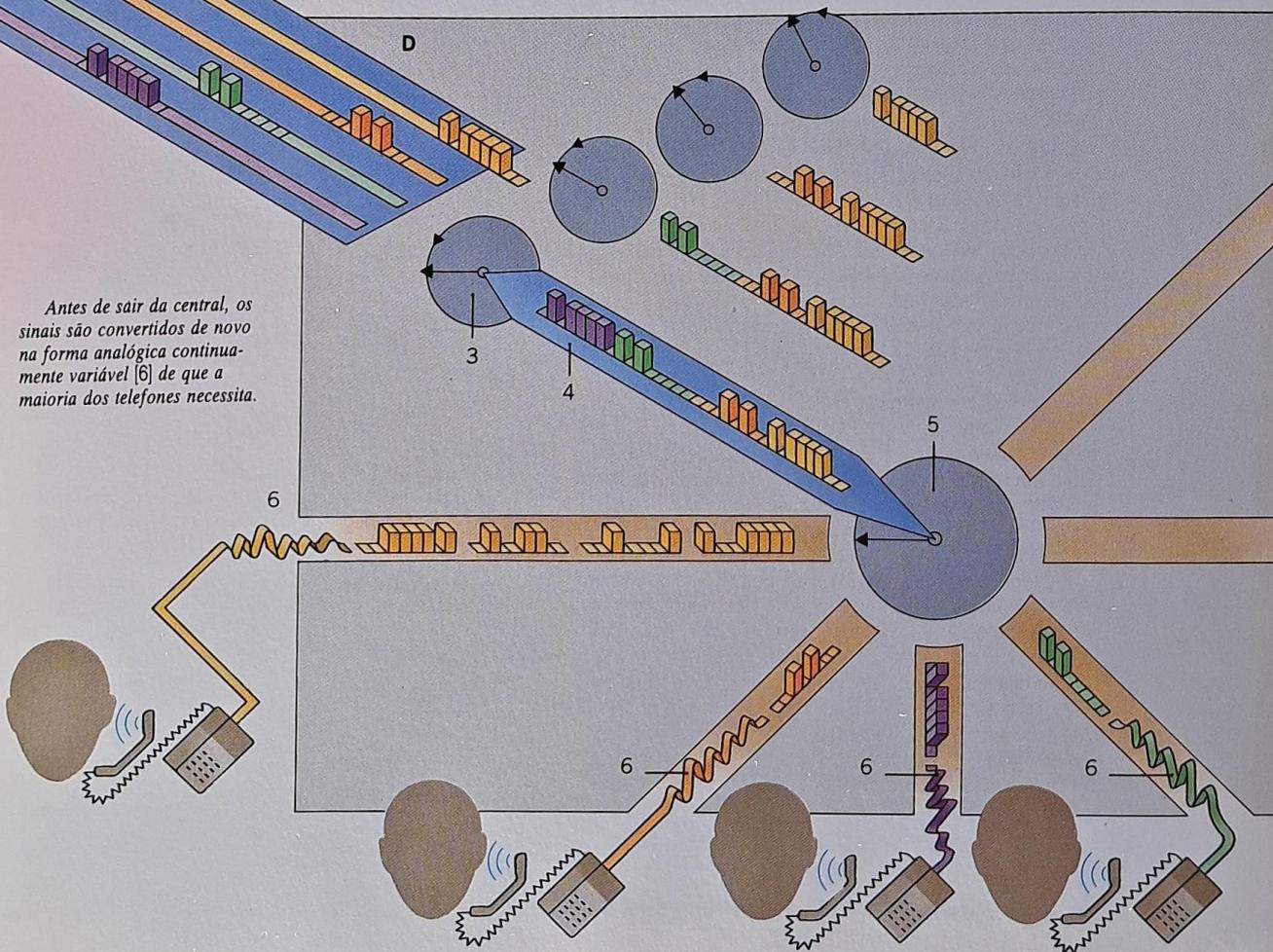
A mudança de sistemas telefónicos analógicos para digitais permitiu que a informação fosse transmitida mais rápida e mais economicamente do que antes, tendo também ajudado a ultrapassar muitos dos problemas ligados ao envio de sinais eléctricos para grandes distâncias — ruído, distorção e o enfraquecimento do sinal.



mora apenas 4 microssegundos a registar. Isto significa que se podem misturar amostras de numerosas conversas diferentes durante um período de 125 microssegundos e enviá-las pela mesma linha ao mesmo tempo.

Aqui apresentam-se quatro conversas na mesma linha [C]. Quando a corrente de amostras alternadas atinge a segunda central [D], um interruptor electrónico [3] «puxa» uma amostra de cada conversa de cada vez e armazena-a numa memória de curta duração [4]. Um segundo interruptor pode aceder às amostras armazenadas por qualquer ordem [5], o que lhe permite reencaminhar qualquer conversa para qualquer dos telefones individuais ligados à central.

Antes de sair da central, os sinais são convertidos de novo na forma analógica continuamente variável [6] de que a maioria dos telefones necessita.



A explosão da informação

Como se está a expandir a rede de telecomunicações

Está a dar-se uma revolução nas telecomunicações. Os telefones, antigamente ligados através de fios subterrâneos, estão a transformar-se cada vez mais em dispositivos manuais que transmitem via ondas rádio. Em breve as pessoas poderão ser contactadas em qualquer lugar do globo através de uma rede de satélites. Pelo contrário, a televisão, que era inicialmente transmitida nas mesmas frequências que os telefones celulares utilizam hoje, está destinada a transformar-se um meio de comunicação digital, proporcionando o acesso a centenas de canais diferentes levados até às casas por meio de fibras ópticas — fios da grossura de um cabelo, feitos de vidro, que transportam enormes quantidades de informação à velocidade da luz.

Uma conversa através de um telefone celular é acompanhada por intercâmbios digitais (uma série de uns e de zeros representando informação) inaudíveis enquanto o aparelho e os computadores que controlam a rede tratam a chamada. As células dos telefones devem o seu nome a um mosaico de zonas hexagonais, cada uma delas com um emissor/receptor ou *estação de base* no centro. Os telefones celulares podem ser utilizados por mais pessoas do que o sistema de radiophone porque os sinais utilizados são muito fracos, por isso as frequências utilizadas numa célula podem ser reutilizadas noutra a pouca distância.

De 15 em 15 minutos, cada estação de base envia uma mensagem pedindo aos telefones da sua célula para «enviar relatório». Isto permite aos computadores centrais saberem para onde encaminhar uma chamada quando um aparelho é utilizado.

Superauto-estradas digitais

O número sempre crescente de aparelhos de fax, de *modems* de computador e de novos utilizadores de telefones exige linhas de transmissão que possam comportar um número muito maior de chamadas do que os tradicionais fios de cobre. Esta exigência está a ter resposta através de cabos de fibras ópticas, que transportam mensagens digitais sob a forma de rápidos impulsos de uma intensa luz de *laser*. Capazes de transmitir centenas de milhares de chamadas telefónicas em simultâneo ao longo de um par de fios de vidro, para além de mensagens de fax, de da-

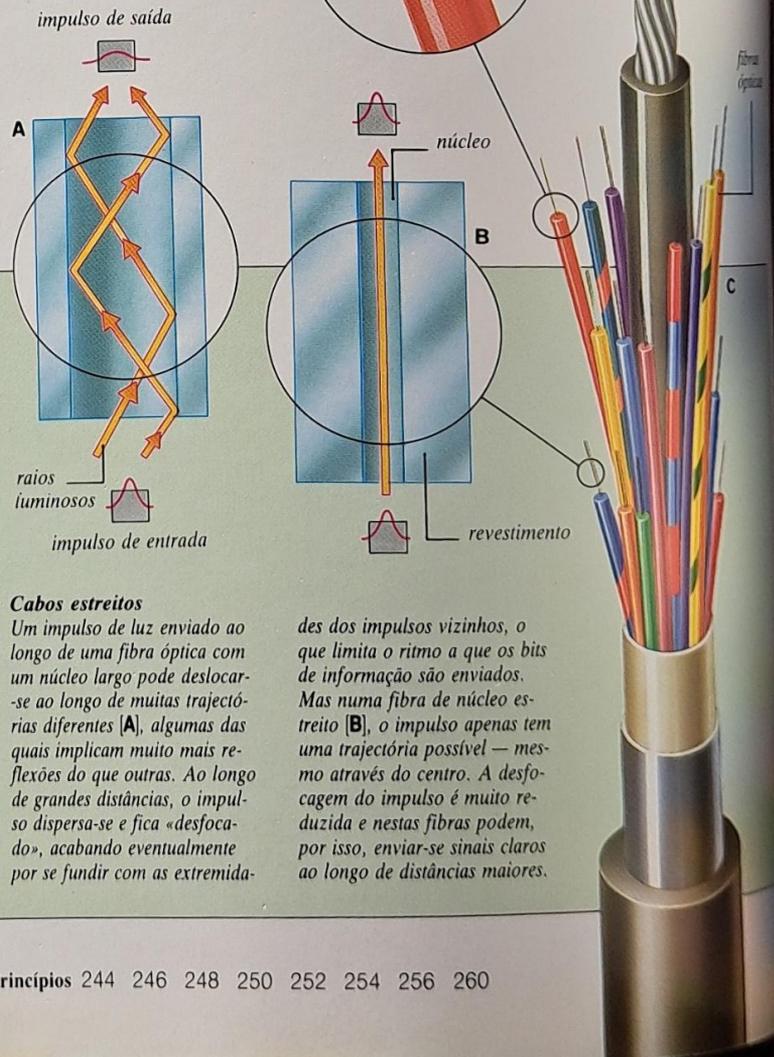
Tubos de luz

As fibras ópticas podem transmitir informação digital sob a forma de até 2 biliões de impulsos de luz de *laser* por segundo, o que faz delas um meio ideal para transmitir o número rapidamente crescente de chamadas telefónicas, de mensagens por fax e de informação computadorizada que se deslocam de lugar para lugar. O vidro de que são feitas é tão transparente que os sinais se podem deslocar ao longo de dezenas de quilómetros antes de terem de ser amplificados — dez vezes mais do que o que permitiam os cabos de cobre tradicionais.

Uma fibra é, na realidade, constituída por duas camadas concêntricas de vidro ultrapuro e sem bolhas. O núcleo cilíndrico está rodeado de um revestimento extraído de vidro com um índice de refração diferente. Os raios *laser* que se fazem incidir no núcleo ficam confinados a um processo chamado *reflexão interna total* — os raios que atingem a fronteira entre duas camadas com um ângulo suficientemente pequeno são reflectidos em vez de se escaparem. Como as fibras são muitíssimo finas — mais até do que um cabelo humano —, podem ser muito dobradas antes de a luz «jorrar» para fora.

Auto-estrada da informação

Um cabo óptico principal (C) contém um feixe de fibras ópticas à volta de um tubo de resistência mais grosso, compreendido dentro de camadas de revestimento protector. Cada fibra tem um núcleo, através do qual a luz se desloca, e um revestimento, que faz com que a luz se mantenha no núcleo. Ambos são feitos de vidro de silício, com a adição de pequenas quantidades de bório e de germânio para melhorar as propriedades transmissoras. Uma camada de plástico à volta do revestimento faz com que nenhuma luz dispersada passe para as outras fibras.



Cabos estreitos

Um impulso de luz enviado ao longo de uma fibra óptica com um núcleo largo pode deslocar-se ao longo de muitas trajetórias diferentes (A), algumas das quais implicam muito mais reflexões do que outras. Ao longo de grandes distâncias, o impulso dispersa-se e fica «desfocado», acabando eventualmente por se fundir com as extremida-

des dos impulsos vizinhos, o que limita o ritmo a que os bits de informação são enviados. Mas numa fibra de núcleo estreito (B), o impulso apenas tem uma trajetória possível — mesmo através do centro. A desfocagem do impulso é muito reduzida e nestas fibras podem, por isso, enviar-se sinais claros ao longo de distâncias maiores.

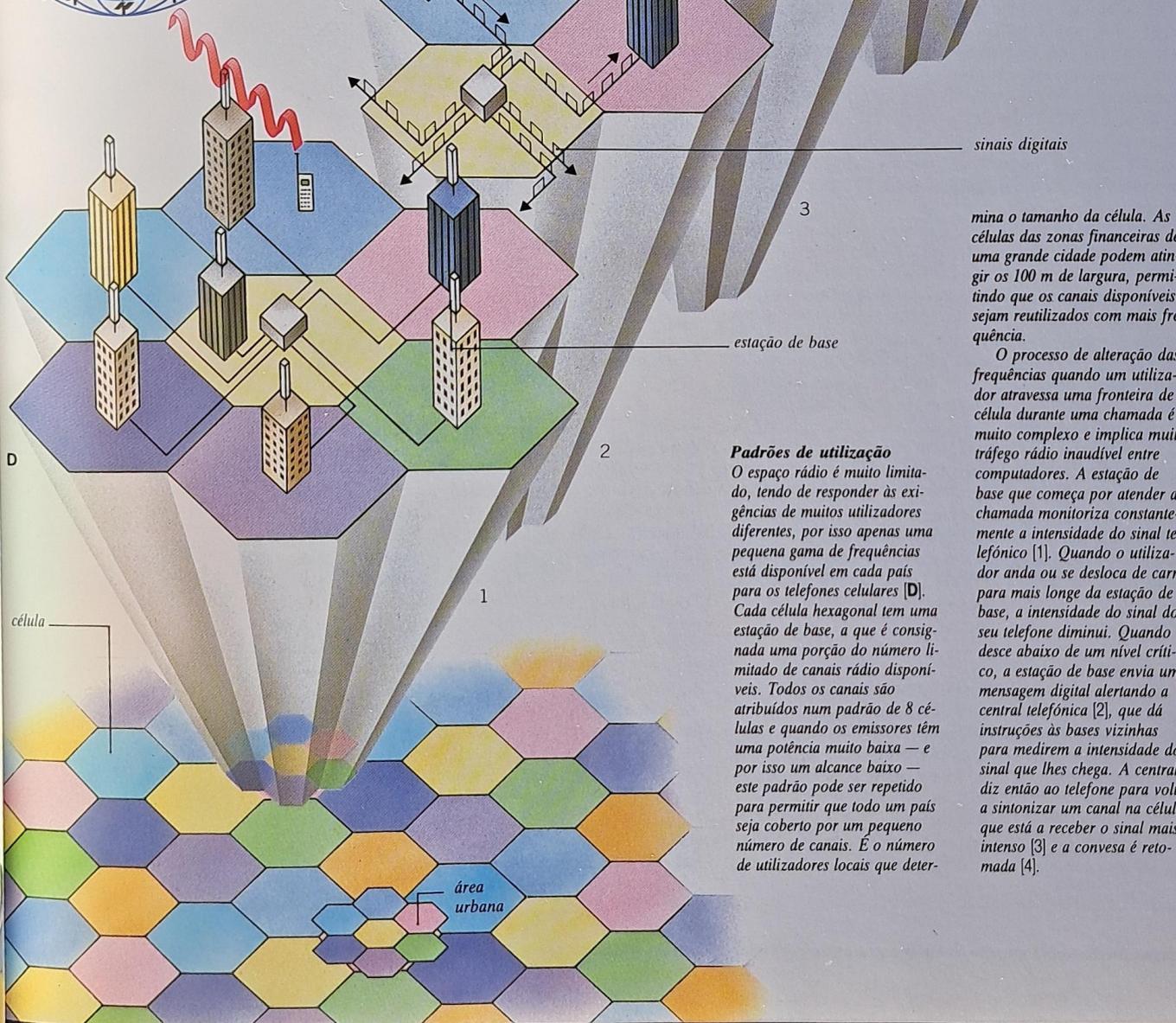
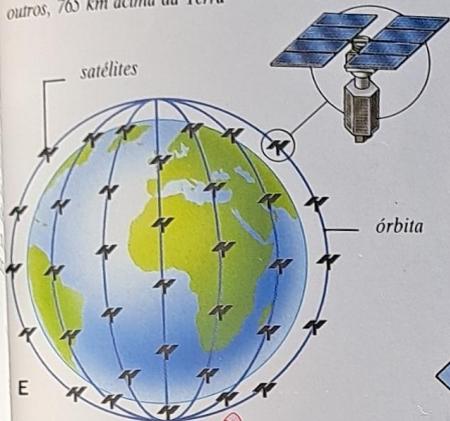
dos computadorizados e de sinais de televisão, os cabos de fibras ópticas estão a revolucionar as comunicações globais e a diversão em casa. Alguns operadores de televisão por cabo oferecem já uma enorme escolha de canais, de jogos interactivos e até de vídeos pedidos. As conversas são mais inteligíveis quando as duas partes se podem ver uma à outra. Contudo, os videofones que tornam isto possível transmitindo simultaneamente imagens e fala, ainda não são muito utilizados porque a transmissão de um sinal vídeo completo exige o envio de mais de 200 milhões de bits (unidades de informação) por segundo — 4000 vezes mais do que o que os cabos tradicionais podem comportar.

A aceitação de uma má qualidade de imagem e a utilização da *compressão*, uma técnica por meio da qual bits redundantes ou repetidos são omitidos, permitem a redução do sinal para 64 000 bits por segundo. Mesmo assim, isto ultrapassa a capacidade das vulgares linhas telefónicas; por isso, os videofones actuais só podem enviar imagens paradas e muito rudimentares. Um modelo que envia dados a 14 400 bits por segundo demora cinco segundos a enviar uma imagem parada.

Cobertura total
Um novo sistema proposto para as telecomunicações a nível mundial baseia-se em emissores situados no espaço e terá a capacidade de ligar duas pessoas em qualquer parte do globo [E]. O sistema que aqui se vê compreenderá 77 satélites, uniformemente distanciados uns dos outros, 765 km acima da Terra

e ligados por sinais digitais, formando uma rede celular.

Os assinantes deste sistema poderão comunicar com qualquer telefone das redes terrestres. As chamadas serão encaminhadas directamente para um satélite a partir dos aparelhos telefónicos, dos telemóveis ou até das cabinas telefónicas a energia solar.



mina o tamanho da célula. As células das zonas financeiras de uma grande cidade podem atingir os 100 m de largura, permitindo que os canais disponíveis sejam reutilizados com mais frequência.

O processo de alteração das frequências quando um utilizador atravessa uma fronteira de célula durante uma chamada é muito complexo e implica muito tráfego rádio inaudível entre computadores. A estação de base que começa por atender a chamada monitoriza constantemente a intensidade do sinal telefónico [1]. Quando o utilizador anda ou se desloca de carro para mais longe da estação de base, a intensidade do sinal do seu telefone diminui. Quando desce abaixo de um nível crítico, a estação de base envia uma mensagem digital alertando a central telefónica [2], que dá instruções às bases vizinhas para medirem a intensidade do sinal que lhes chega. A central diz então ao telefone para voltar a sintonizar um canal na célula que está a receber o sinal mais intenso [3] e a conversa é retomada [4].

Padrões de utilização

O espaço rádio é muito limitado, tendo de responder às exigências de muitos utilizadores diferentes, por isso apenas uma pequena gama de frequências está disponível em cada país para os telefones celulares [D]. Cada célula hexagonal tem uma estação de base, a que é consignada uma porção do número limitado de canais rádio disponíveis. Todos os canais são atribuídos num padrão de 8 células e quando os emissores têm uma potência muito baixa — e por isso um alcance baixo — este padrão pode ser repetido para permitir que todo um país seja coberto por um pequeno número de canais. E o número de utilizadores locais que deter-

No ar

De que modo as ondas rádio transmitem sinais para todo o mundo

A rádio não é apenas um meio de transmissão de voz e música. Zigzagueando pela atmosfera à velocidade da luz, as ondas rádio retransmitem uma gama extraordinária de informação — desde dados de navegação que permitem aos aviões saber a sua posição com uma aproximação de 10 m até imagens televisivas de alta definição. Tal como as microndas, a luz visível e os raios X, as ondas rádio são uma forma de radiação electromagnética. Distinguem-se destas outras ondas pelos seus comprimentos de onda maiores (um milhão de vezes maiores do que a luz) e pelo modo como são geradas.

As ondas rádio são ondas electromagnéticas com comprimentos de onda entre 1 cm e 100 km. São produzidas por um emissor, que faz com que uma corrente eléctrica se desloque em surtos para a frente e para trás muito rapidamente ao longo de um certo comprimento de fio (ou *antena*). Ao oscilarem no interior da antenna, os electrões emitem uma onda rádio simples e regular, de frequência e intensidade constantes.

As primeiras mensagens rádio eram enviadas em código Morse ligando e desligando simplesmente esta onda. Contudo, para enviar mensagens mais complicadas, como som e imagens, esta onda básica (ou *portadora*) tem de ser moldada ou *modulada* pela informação a transmitir.

O sinal áudio ou vídeo pode moldar a onda portadora de duas maneiras. Em AM (*modulação de amplitude*), a altura (ou *amplitude*) das cristas da onda portadora segue o formato de onda do sinal. Em FM (*modulação de frequência*), pelo contrário, é a frequência da onda portadora que se altera para seguir o sinal. As emissões em AM necessitam de uma amplitude de frequências (ou *largura de banda*) mais estreita em comparação com a FM, mas os sinais FM têm uma qualidade muito superior.

Quando as ondas rádio atingem um receptor, obrigam os electrões da antenna receptora a oscilar em sincronia com a sua energia electromagnética. Isto dá origem a uma corrente alterna na antenna, que alimenta em seguida um circuito sintonizador. O sintonizador deixa passar apenas as ondas da frequência requerida, permitindo ao ouvinte seleccionar a estação pretendida. Outros circuitos do receptor separam o sinal áudio da onda portadora (*desmodulação*) antes de aquele ser amplificado e enviado para um altifalante.

Os emissores de rádio não são as únicas fontes de ondas de rádio. Estas podem ser produzidas por qualquer partícula com carga que se desloque à velocidade certa. Os raios produzem ondas de energia rádio, que se podem ouvir sob a forma de interferências num receptor. E os *pulsares* — estrelas densas em rotação — emitem impulsos de ondas de rádio que são tão regulares que se pensou em tempos tratar-se de uma prova da existência de vida extraterrestre.

Esquartejar o ar

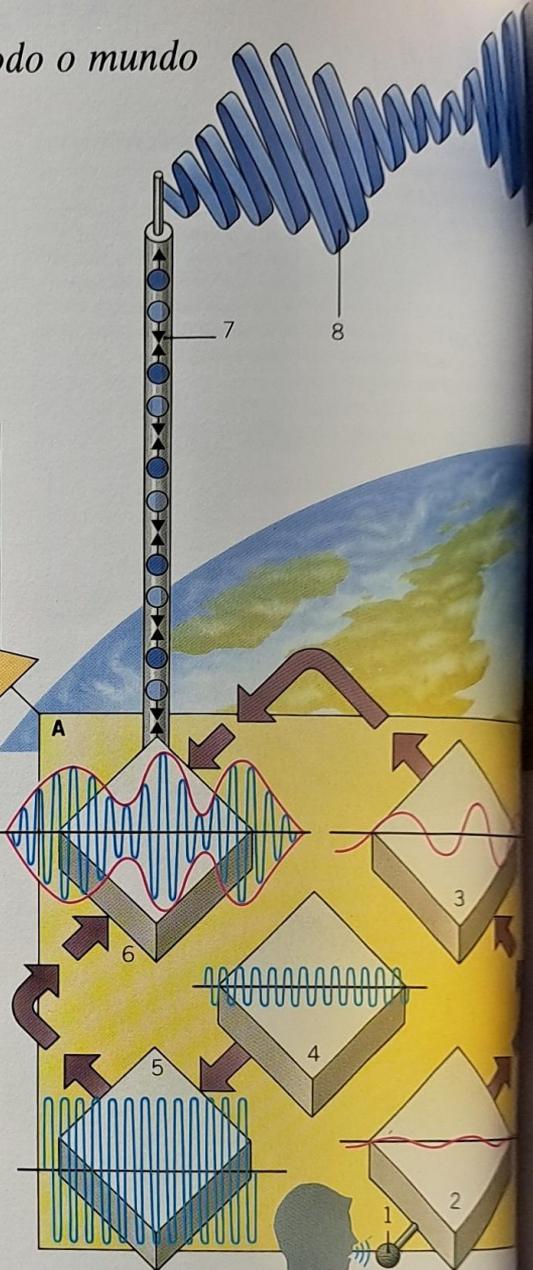
O espectro de rádio está arbitrariamente dividido num certo número de bandas de frequência que têm propriedades de transmissão diferentes e, por isso, utilizações diferentes. Em geral, as ondas de baixa frequência têm alcances maiores, mas transportam menos informação.

As transmissões a frequências muito baixas (3-30 kHz) podem cobrir enormes distâncias, mas transportam apenas informação simples. Essas frequências são utiliza-



A antenna (em cima)

A parte mais visível de um emissor de rádio é a sua antenna. Esta funciona com uma eficiência máxima se o seu comprimento estiver relacionado com o comprimento de onda do sinal que emite (normalmente metade ou um quarto do comprimento de onda). As antenas dos emissores de ondas longas podem, assim, ter centenas de metros de comprimento, enquanto as antenas de microndas, como as dos telefones móveis, têm apenas alguns centímetros. As antenas enviam ondas rádio em todas as direcções; nalguns casos, utiliza-se uma antenna parabólica para focar as ondas, produzindo uma transmissão mais potente mas extremamente direccionada.

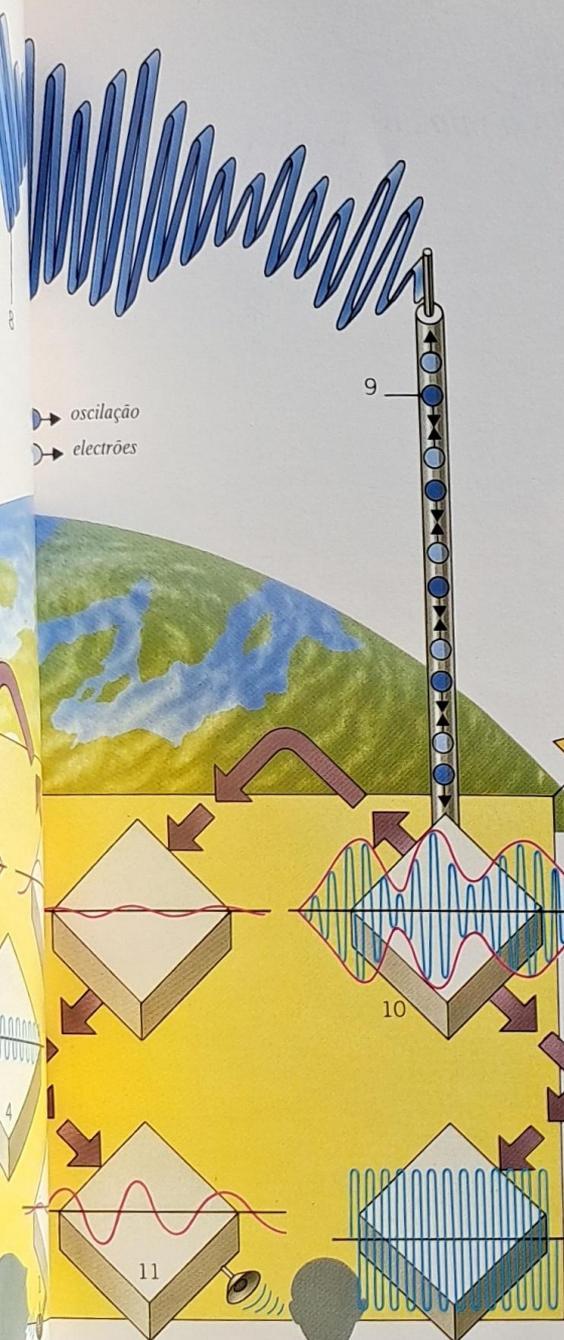


das nas comunicações submarinas porque, ao contrário dos comprimentos de onda mais curtos, conseguem passar através da água. Os sinais de alta frequência (3-30 MHz), ou de onda curta, podem também percorrer grandes distâncias, mas por meio de um mecanismo diferente. Estas ondas são reflectidas entre o solo e a camada da atmosfera conhecida por ionosfera e podem «ricochetear» à volta do mundo transportando comunicações internacionais e emissões amadoras. A radiação solar afecta os gases existentes na atmosfera, interferindo na reflexão das ondas curtas durante as horas de dia; por isso, estas emissões amadoras ouvem-se melhor à noite.

As frequências médias (300 kHz a 3 MHz) são utilizadas para os sinais rádio AM e têm um alcance de algumas centenas de quilómetros. As frequências muito elevadas (30-300 MHz) têm um alcance ainda menor, mas podem transportar sinais mais complicados que necessitam de larguras de banda maiores. Esta largura de banda transporta emissões rádio FM estéreo, bem como imagens televisivas e sinais de telefones celulares.

Enviar e receber

Uma emissão rádio em AM começa com o material a ser enviado — normalmente fala ou música. No caso da fala, a voz do emissor começa por ser transformada por um microfone [1] num sinal eléctrico. Este sinal [2] é um padrão irregular de frequências diferentes que vão desde cerca de 100 a 3000 Hz (a gama de frequências da voz humana). O sinal é amplificado [3] antes de ser «marcado» num sinal de rádio, ou onda portadora, com uma frequência de cerca de um milhão de herzes. O sinal portador é gerado por um oscilador [4] — que nalguns emissores é um cristal de quartzo — que emite as



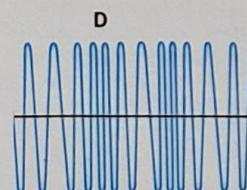
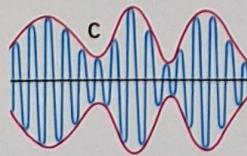
Recepção em casa (em baixo)

Um receptor de rádio doméstico pode captar emissões em AM com frequências de portadoras entre 550 e 1700 kHz e frequências em FM entre 88 e 108 MHz. As emissões de televisão são transmitidas sob a forma de sinal composto, constituído por um sinal vídeo em AM e por um sinal áudio em FM.



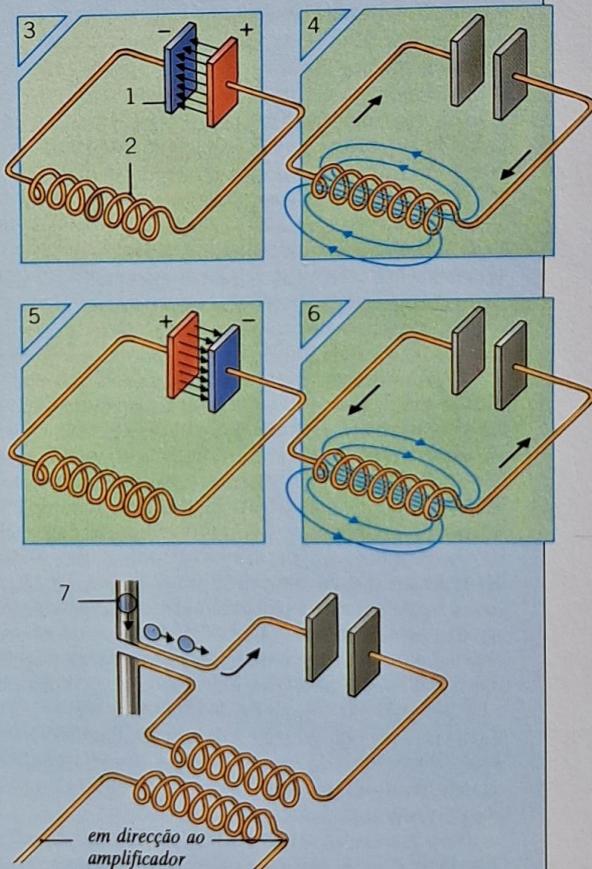
AM e FM

A informação transportada por um sinal áudio pode ser marcada de duas maneiras numa onda portadora de alta frequência [B]. Pode fazer-se variar a amplitude da onda portadora (modulação de amplitude, AM) [C] ou alterar a sua frequência de um instante para o outro (modulação de frequência, FM) [D]. As transmissões em FM proporcionam uma melhor qualidade de som que as em AM. Isto deve-se ao facto de a informação ser codificada na frequência da onda que é pouco provável ser alterada por interferência externa. A amplitude de uma onda é mais facilmente afectada por interferências.



Sintonizar

Uma antena de rádio capta em simultâneo uma multitude de frequências diferentes. A estação pretendida é filtrada por um **circuito sintonizador**, concebido para permitir que a corrente oscile a apenas uma frequência. Compreende um **condensador** [1] (que armazena energia sob a forma de um campo eléctrico) ligado a uma **bobina** [2] (que armazena energia sob a forma de um campo magnético). Primeiro, o condensador está completamente carregado [3] — uma das suas placas é negativa, a outra positiva. A carga flui naturalmente de uma placa para a outra: ao fazê-lo, passa através da bobina, dando origem a um campo magnético [4]. Quando a corrente pára de fluir através da bobina, o campo magnético colapsa. Ao fazê-lo, induz uma corrente eléctrica, que passa à volta do circuito, carregando de novo o condensador [5]. Este descarrega mais uma vez através da bobina [6] e assim por diante. Assim, origina-se no circuito sintonizador uma corrente oscilante de uma só frequência.



Ressonância eléctrica

A corrente alterna da antena [7] do receptor é passada para o circuito de sintonização. Só se o seu ritmo de oscilação for exactamente igual ao da frequência «natural» do circuito de sintonização é que a corrente oscila no circuito. Deste modo, selecciona-se uma frequência de entre as muitas que chegam à antena.

A alteração do tamanho do condensador do circuito de sintonização (rodando um botão no aparelho de rádio) altera a frequência natural do circuito e deixa passar uma frequência diferente.

Um impulso de corrente muito regular (esses cristais também são utilizados para marcar o tempo nos relógios de quartzo). O sinal de frequência rádio é amplificado [5] e passa para outro dos circuitos do emissor, onde encontra o sinal áudio [6]. As amplitudes (alturas) do sinal portador e do sinal áudio são «multiplicadas em conjunto». O resultado é um sinal rádio de frequência constante cuja amplitude é moldada ou modulada pelo sinal áudio.

O sinal rádio oscilante faz com que os electrões se desloquem para cima e para baixo na antena emissora [7]. Ao alternarem, os electrões emitem ondas electromagnéticas [8], que se afastam em todas as direcções. Quando estas ondas encontram um receptor, induzem uma minúscula corrente oscilante na sua antena [9]. Ondas provenientes de muitos emissores diferentes atingem a antena em simultâneo, por isso a frequência pretendida (cada estação de rádio tem uma frequência portadora ligeiramente diferente) tem de ser filtrada, o que é feito por um circuito de ressonância (ver caixa). O sinal seleccionado é então desmodulado [10] — o sinal áudio é separado da onda portadora e em seguida amplificado [11]. Tem então a potência suficiente para fazer funcionar o altifalante do receptor.

Para que fique registado

Como se grava som em casa e no estúdio

A primeira máquina capaz de gravar e reproduzir som foi inventada por Thomas Edison em 1877. Neste instrumento, as ondas sonoras, captadas por um diafragma, eram utilizadas para fazer minúsculas incisões numa folha de papel de alumínio. Actualmente, a gravação de som transformou-se numa indústria de tecnologia avançada. As palavras ou a música produzidas em estúdios acústicos são transformadas numa corrente de números binários e gravadas numa fita sob a forma de padrões de magnetização microscópicos. Quando se voltam a passar, as melhores gravações podem ser difíceis de distinguir dos espectáculos ao vivo.

O som é constituído por ondas de pressão que se deslocam através do ar. Um microfone converte estas ondas mecânicas em ondas eléctricas, cujas cristas e vales correspondem exactamente aos do som original. Estas ondas eléctricas são gravadas de modo mais prático em fita magnética, que é uma fita plástica, revestida de biliões de minúsculas partículas, cada uma das quais se comporta como um minúsculo íman com um pólo norte e um pólo sul.

A onda eléctrica é amplificada e passa através das bobinas de um fino electroímã chamado *cabeça de gravação*. A onda eléctrica oscilante produz um campo magnético variável à volta da cabeça. E, quando um motor eléctrico faz com que a fita passe pela cabeça, as partículas daquela realinham-se de modo a corresponderem à intensidade do campo. Deste modo, o som é armazenado sob a forma de um padrão variável de magnetização ao longo de todo o comprimento da fita. Quando se volta a passar a fita, estes mesmos padrões magnéticos induzem na cabeça de gravação uma onda eléctrica que é amplificada e passa para os altifalantes. A gravação deste tipo é conhecida por *analógica*, porque a orientação das partículas magnéticas é proporcional (é um análogo) à dimensão do campo magnético e, por isso, à própria onda sonora.

A gravação analógica tem inconvenientes. A dimensão do campo magnético que pode ser produzido tem limites e, por conseguinte, o mesmo acontece com a intensidade do som que pode ser armazenado na fita. Este efeito de distorção, chamado *saturação*, tem lugar quando todas as partículas magnéticas de uma determinada extensão da fita têm o mesmo alinhamento. Para além disso, os trechos de melhor intensidade sonora que podem ser gravados têm de ser mais intensos do que o ruído de fundo, que é um silvo produzido por orientações aleatórias das partículas magnéticas na fita não gravada. Mesmo com circuitos de redução de ruído, estas restrições significam que a *amplitude dinâmica* de uma gravação analógica — a diferença entre as partes de maior e de menor intensidade de som — é limitada. Outros problemas são a *modulação mecânica de baixa frequência* e a *vibração*, pequenas variações na velocidade da fita que produzem efeitos vibratórios indesejados.

Por estas razões, os gravadores profissionais são *digitais* em vez de analógicos e utilizam uma cassette digital áudio (DAT). Na gravação digital, o formato de onda eléctrica proveniente de um microfone ou de um instrumento musical é *amostrado* por circuitos electrónicos. Isto implica a medição da *amplitude* ou altura da onda milhares de vezes por segundo. Estes valores são convertidos em números binários formados apenas por uns e zeros, que são representados por impulsos eléctricos discretos, «ligado» e «desligado» respectivamente. Quando se fazem passar por cabeças de gravação, estes impulsos

Mistura

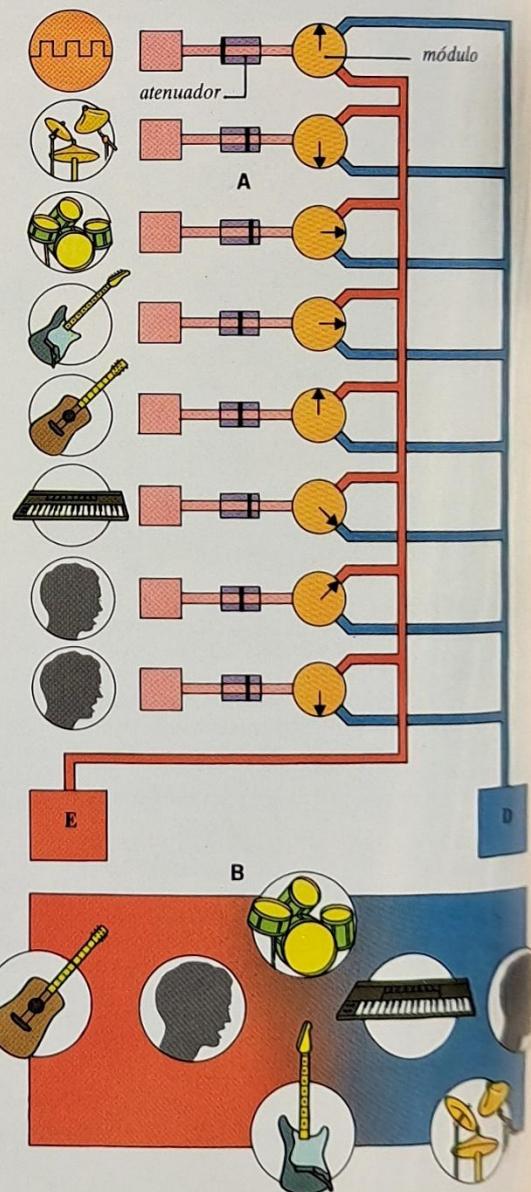
Quase todas as gravações profissionais são constituídas por várias pistas de informação magnética sobre uma mesma fita. Um gravador multipistas num estúdio pode estabelecer até 64 dessas pistas, cada uma delas gravada e lida pela sua própria cabeça de gravação. Isto significa que se pode utilizar uma banda separada ao longo da fita para cada instrumento ou voz de uma canção. Os instrumentos não têm de ser gravados todos ao mesmo tempo — novas pistas podem ser sobrepostas sobre a fita sem apagar as outras, de modo que se pode construir um arranjo complexo apenas com um músico. Uma máquina mais simples tem apenas 8 pistas separadas [A]. Uma delas (em cima) transporta um código de impulsos utilizado para sincronizar o gravador com outros gravadores e instrumentos.

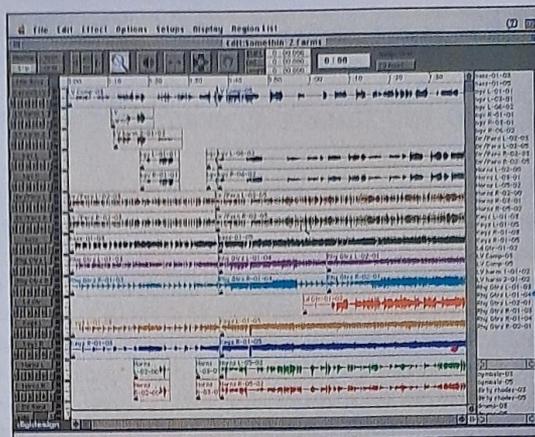
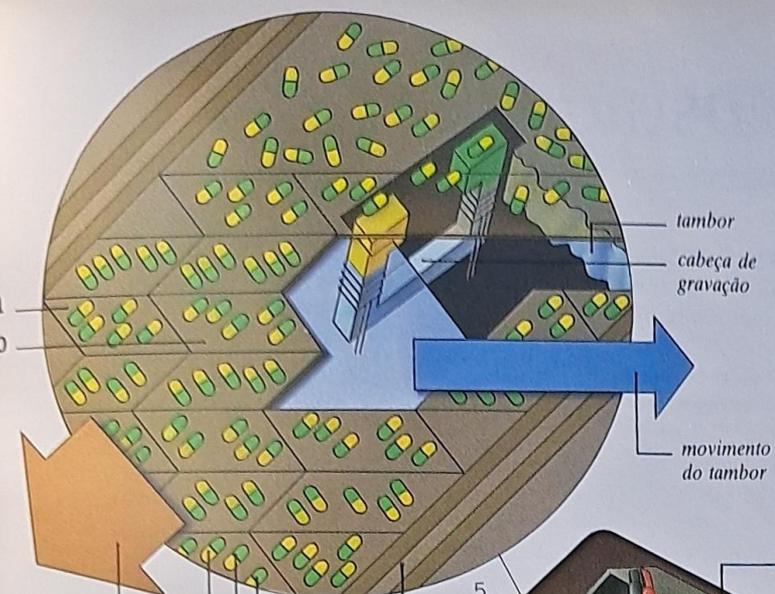
Depois da gravação, as 8 pistas são misturadas numa fita principal que tem apenas as duas pistas (esquerda e direita) necessárias à reprodução estereofónica. O conteúdo de cada pista passa primeiro através de um atenuador — semelhante ao controlo de som de um aparelho de rádio — que ajusta o seu nível. Em seguida passa para um módulo, que funciona como um equalizador de hi-fi, estabelecendo as proporções do sinal que são enviadas para os canais da esquerda e da direita. As verdadeiras mesas de mistura têm muito mais controlos para alterar o equilíbrio tonal de cada som, acentuando ou reduzindo uma determinada banda de frequências. Utilizando estes controlos, um técnico de som pode combinar as diferentes pistas de modo a apresentarem uma «imagem» espacial, tendo cada instrumento uma localização aparente. Isto dá mais realismo à experiência do ouvinte [B].

produzem apenas dois alinhamentos magnéticos discretos sobre uma fita magnética. A gravação digital é quase isenta de distorções porque o leitor só tem de distinguir entre uns e zeros em vez de entre uma gama infinita de intensidades de campo, como acontece na gravação analógica, e pode também ser regravada sem perda de qualidade.

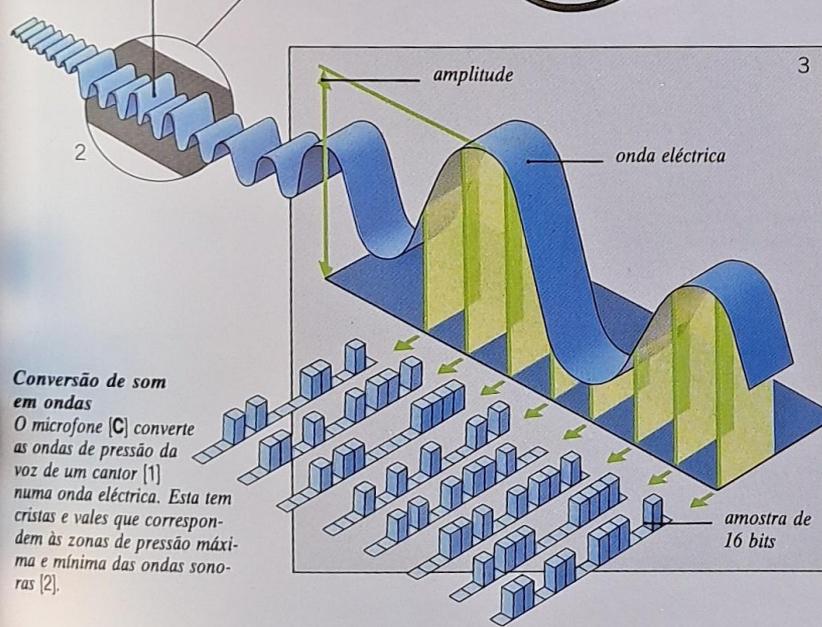
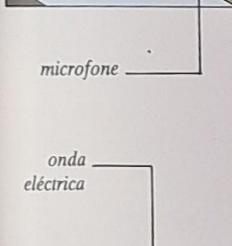
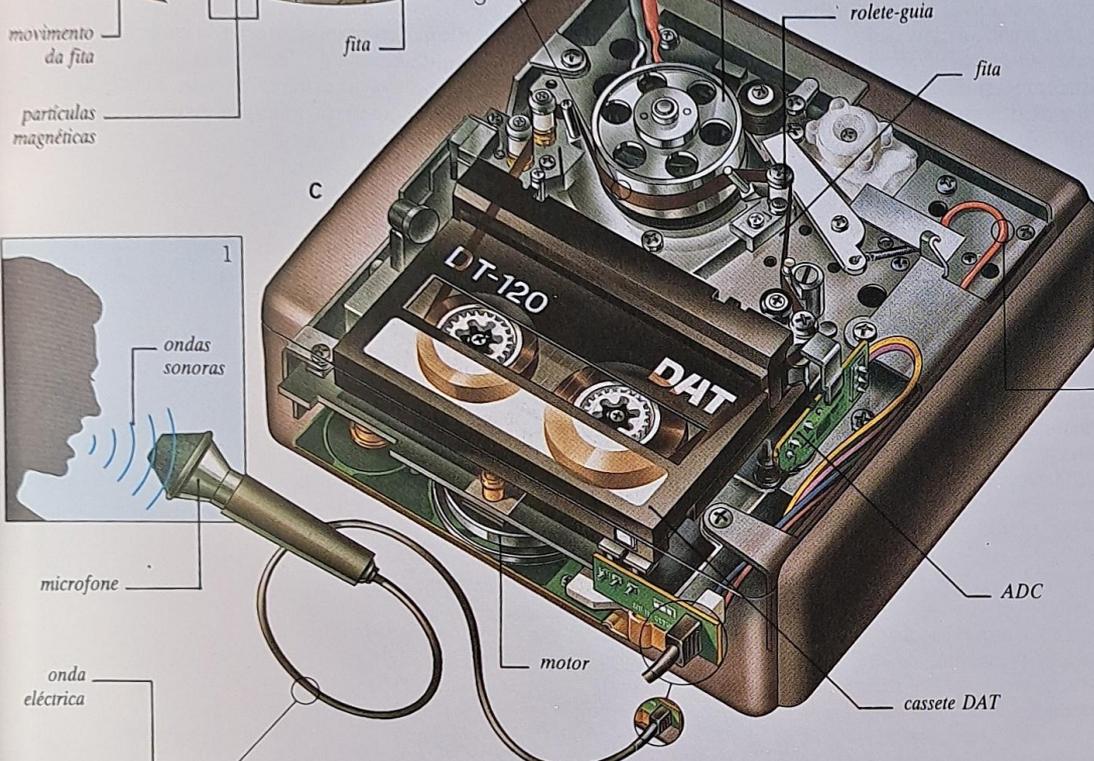
Fazer um disco

A fita não é o único meio sobre o qual se pode armazenar som digital. Em muitos estúdios de gravação profissionais, o som é agora escrito directamente sobre o disco rígido de um computador. Ao contrário da fita, que tem de se voltar a enrolar para a frente ou para trás para se encontrar um determinado trecho, a cabeça de «gravação» ou de leitura/escrita do disco rígido pode deslocar-se por qualquer secção do disco em poucos milissegundos. Este facto torna a edição ou a simples manipulação do som um processo muito mais simples e que não implica qualquer degradação da pureza.

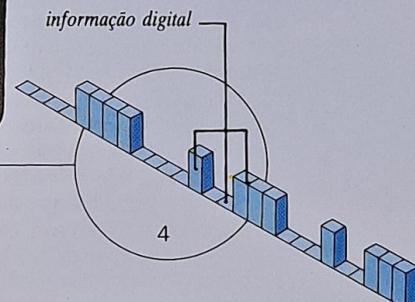




Edição no ecrã
 Encontram-se disponíveis alguns programas especializados que utilizam o disco rígido de um computador para armazenar dados gravados digitalmente. Pode ter-se acesso a qualquer parte do disco em milissegundos, o que torna a edição simples. O monitor (em cima) mostra os formatos de onda digitalizados correspondentes a várias pistas diferentes.



Conversão de som em ondas
 O microfone [C] converte as ondas de pressão da voz de um cantor [1] numa onda eléctrica. Esta tem cristas e vales que correspondem às zonas de pressão máxima e mínima das ondas sonoras [2].



Escrita numérica
 As cassetes áudio digitais têm apenas 80 mm de largura, mas podem armazenar até 2 horas de som digital. O fluxo de dígitos binários [4] provenientes do ADC do gravador é enviado, sob a forma de uma série de impulsos eléctricos, para bobinas situadas nas cabeças de gravação — dois pequenos electroimanes montados num tambor rotativo. Estas originam campos magnéticos com polaridades correspondentes a uns ou zeros. Num processo chamado exploração helicoidal [5], a fita ligeiramente torta desloca-se lentamente, passando pelo tambor, na direcção oposta à sua rotação. Os movimentos combinam-se de tal modo que as cabeças produzem traços diagonais de magnetização quando as partículas presentes na fita se alinham com os campos. Os uns e os zeros são representados por zonas de orientação opostas. As duas cabeças, cada uma das quais regista uma das duas pistas estereofónicas, são montadas sobre o tambor com diferentes inclinações, de modo a evitar interferências entre traços adjacentes quando se volta a tocar a fita.

De ondas a dígitos
 Um gravador DAT [C] capta sons analógicos, como o formato de onda eléctrica produzido por um microfone [2], e converte-os numa série de números, num processo chamado amostragem. Um conversor analógico-digital (ADC) mede a altura ou amplitude do formato de onda 48 000 vezes por segundo e atribui-lhe um de 32 768 valores possíveis [3]. Estas amostras têm a forma de números binários de 16 dígitos (ou 16 bits), constituídos apenas por uns e zeros. O ritmo de amostragem, mais rápido do que o utilizado nos discos compactos, é suficientemente rápido para captar todas as complexidades dos sons audíveis pelo ouvido humano.

Música em números

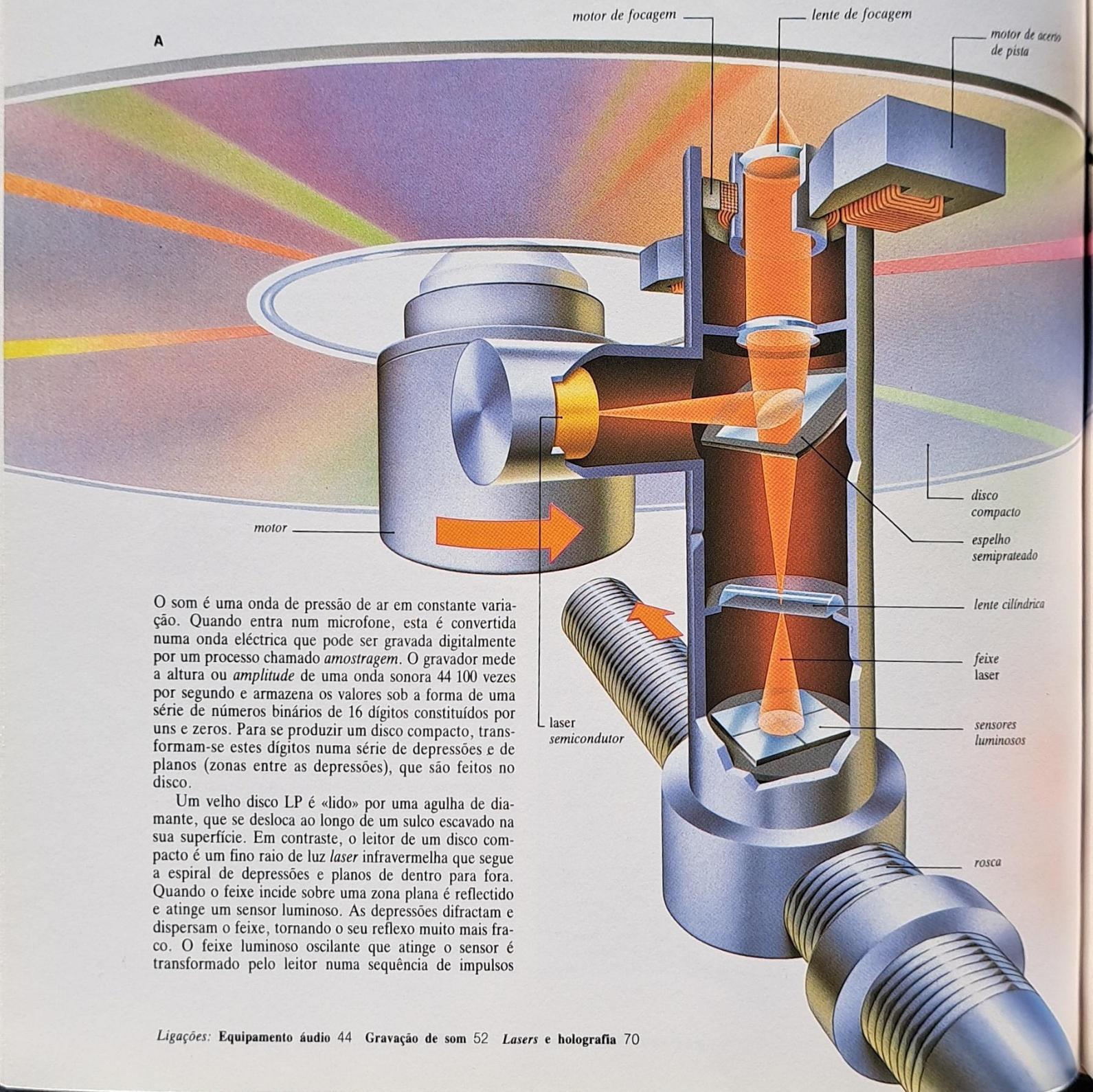
Como são lidos e gravados os discos compactos

Os padrões luminosos cintilantes de um disco compacto são reflexos de bilhões de depressões com menos da milionésima parte de um metro de largura sob a sua superfície. Só a potência e a precisão de um semicondutor *laser* conseguem extrair a mensagem digital de uns e zeros que estas depressões contêm. Cada disco de doze centímetros contém pelo menos 3 bilhões de depressões numa pista em espiral com mais de cinco quilômetros de comprimento. A armazenagem digital é muito versátil — nos discos interactivos pode armazenar-se texto, vídeos e animação, para além do som, guardando toda uma enciclopédia de doze volumes num pequeno pedaço de plástico.

Som da luz

A informação digital existente num disco compacto é gravada sob a forma de uma pista de depressões em espiral existentes na sua estrutura de plástico [B]. Estas são «lidas» por um feixe de laser infravermelho [A] que é reflectido por um espelho semiprateado e passa através de duas lentes antes de ser focado

sobre a pista de depressões. Quando o feixe atinge um «plano» numa zona entre duas depressões reflecte-se de novo através do sistema de lentes. Quando o feixe atinge uma depressão, é disperso de tal modo que quase nenhuma luz é reflectida. Depois de passar através de uma lente cilíndrica, a luz incide sobre quatro sensores luminosos.



O som é uma onda de pressão de ar em constante variação. Quando entra num microfone, esta é convertida numa onda eléctrica que pode ser gravada digitalmente por um processo chamado *amostragem*. O gravador mede a altura ou *amplitude* de uma onda sonora 44 100 vezes por segundo e armazena os valores sob a forma de uma série de números binários de 16 dígitos constituídos por uns e zeros. Para se produzir um disco compacto, transformam-se estes dígitos numa série de depressões e de planos (zonas entre as depressões), que são feitos no disco.

Um velho disco LP é «lido» por uma agulha de diamante, que se desloca ao longo de um sulco escavado na sua superfície. Em contraste, o leitor de um disco compacto é um fino raio de luz *laser* infravermelha que segue a espiral de depressões e planos de dentro para fora. Quando o feixe incide sobre uma zona plana é reflectido e atinge um sensor luminoso. As depressões difractam e dispersam o feixe, tornando o seu reflexo muito mais fraco. O feixe luminoso oscilante que atinge o sensor é transformado pelo leitor numa sequência de impulsos

Ao serem iluminados, estes produzem um impulso eléctrico, por isso a presença ou ausência do feixe origina um sinal digital ligado/desligado que é convertido pelo leitor de CD nos formatos de onda da gravação original. Enquanto o disco gira, um sem-fim faz com que todo o sistema óptico se desloque para fora do centro.

Modelar a música
Quando se faz uma gravação de som, este é armazenado em fita magnética [1]. Uma versão digital da gravação, que inclui uma codificação completa da correcção de erros, é também armazenada em fita e utilizada para gravar o disco compacto [C]. A fita controla um feixe de laser que marca um padrão queimando um revestimento especial fotorresistente numa placa de vidro lisa [2]. Nos sítios onde o laser atinge o revestimento, as propriedades do material são al-

teradas e este torna-se vulnerável ao ácido. O material afectado é retirado, assim como o vidro que se encontra por baixo, formando as depressões da pista [3]. Este disco mestre de vidro é muito lentamente recoberto de níquel até se ter formado uma espessura conveniente [4]. Então uma substância cáustica retira o vidro que resta, deixando uma matriz de níquel — um «negativo» do original. A matriz é utilizada para produzir múltiplas cópias de discos de plástico transparente que serão os CD [5]. O topo do disco é revestido [6] de uma fina camada de alumínio para reflectir a luz proveniente do laser do leitor, seguida de uma camada protectora de laca sobre a qual é impressa a tinta da etiqueta.

eléctricos «ligado» e «desligado», ou *bits*, e passa para os altifalantes.

Um remédio para os erros

Cada depressão tem apenas três quintos de micrómetro de largura — cerca de um centésimo da espessura de um cabelo humano. Com dados tão pouco separados sobre um disco, uma pequena partícula de poeira poderia bloquear grandes quantidades de dados e provocar graves problemas. A *correção de erros* — modos de eliminar ou esconder erros — permite que um leitor efectue uma saída constante e precisa. Na gravação adiciona-se informação extra às amostras escritas sobre um disco. Estes *bits de paridade* podem ser utilizados pelo microprocessador situado no interior do leitor para verificar que faltam dados e preencher pequenos erros. Os grandes erros são evitados dividindo e *alternando* as palavras de 16 bits, de modo a que um risco só oblitere pequenos pedaços de várias amostras em vez de uma amostra completa.

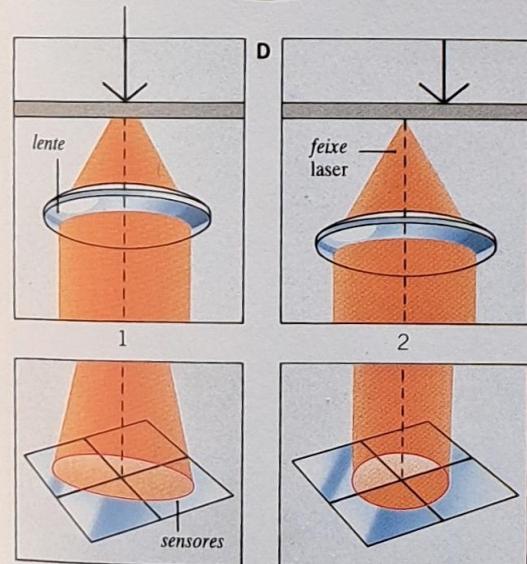
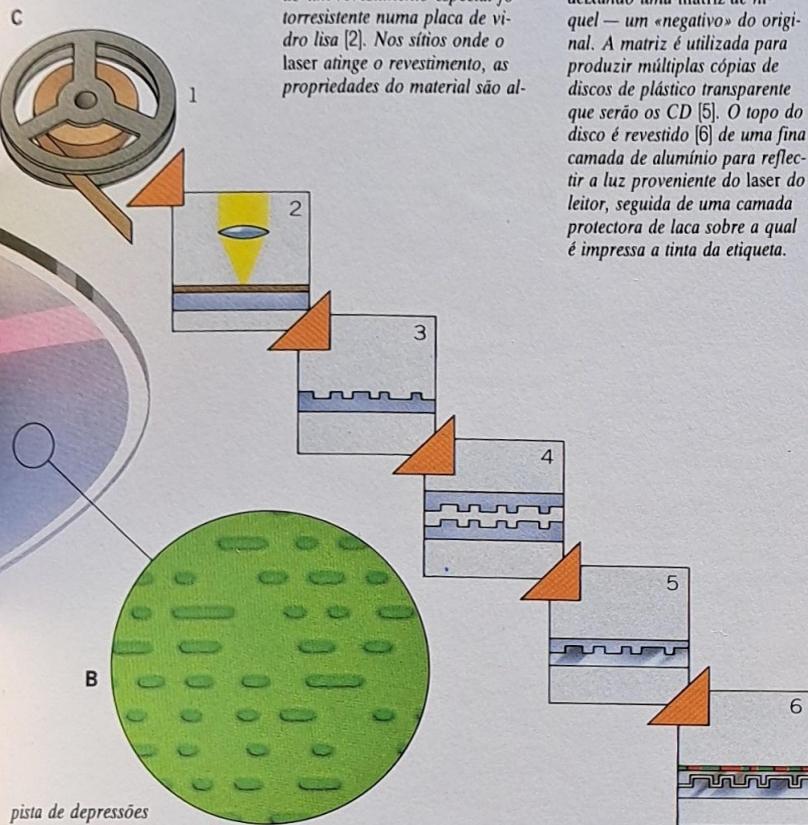
Embora a qualidade do som dos CD seja muito boa, ainda não é perfeita. A própria amostragem — processo de converter uma onda sonora constante numa série de uns e zeros — pode introduzir distorções específicas. Uma delas chama-se *erro de quantificação*. Durante a gravação, mede-se a amplitude, ou tamanho, de uma onda sonora, sendo-lhe atribuído um valor de entre mais de 32 000, 44 100 vezes por segundo. Apesar deste enorme leque, muitas vezes o verdadeiro valor fica entre duas possibilidades. O arredondamento aleatório daí resultante é ouvido sob a forma de *ruído* — um incómodo silvo de alta frequência por detrás da música. A única maneira de o disfarçar é adicionar outro tipo de ruído, menos perturbador, embora este ainda possa ser captado pelos ouvintes atentos.

Mais do que música

Qualquer forma de informação — palavras escritas, sons ou imagens — pode ser representada sob a forma de números e armazenada num CD, que tem capacidade para mais de 100 milhões de palavras de texto, o equivalente a mil romances.

De igual modo, em vez de representarem as letras do alfabeto, os números podem representar o brilho e a cor em pixels — as células de imagem que constituem uma imagem televisiva. Um CD só tem capacidade para armazenar cerca de um minuto de um sinal vídeo completo e o seu ritmo de reprodução de 1,3 milhões de bits por segundo não é suficientemente rápido para mostrar as imagens. Por isso, utilizam-se várias formas de *compressão de dados* para armazenar imagens em muito menos espaço sem perda de qualidade.

Isto cria a possibilidade de um formato *multimédia*, combinando texto, imagens e som. Através de um teclado, o utilizador pode escolher o seu próprio caminho por entre o material do disco. Uma obra multimédia contém texto que pode ser rápida e facilmente pesquisado para dele se extraírem todos os elementos contendo uma determinada palavra ou frase. As suas «páginas» também contém desenhos, sons, animações e *videoclips* inseridos, bem como texto, embora o tempo de acesso de três segundos possa ser uma desvantagem para alguns tipos de assuntos.



Manter o rumo correcto
Um sofisticado subsistema faz com que o laser do leitor de CD esteja sempre correctamente focado e alinhado sobre a pista de depressões e planos. Depois de atingir o CD, o feixe laser é reflectido para baixo, para um conjunto de quatro sensores luminosos [D]. Se a focagem e a pista estiverem correctas, a luz reflectida forma uma mancha circular, espalhada igualmente sobre os quatro sensores. Se a focagem ou a pista «salharem», o foco formado ou é distorcido [1] ou de intensidade desigual [2]. Estas irregularidades na distribuição da luz sobre os quatro sensores são transformadas em movimentos de dois minúsculos motores que se deslocam e voltam a focar o feixe.

Olhando para a televisão

Como funciona um receptor de televisão

A televisão a cores é um dado adquirido: ver televisão é a actividade de lazer mais significativa nos países desenvolvidos. Todavia, este dispositivo vulgar — produto de mais de cinquenta anos de investigação — é verdadeiramente notável pela sua capacidade de tratar e exibir informação. Cada imagem que aparece no ecrã é constituída por mais de 100 000 elementos visuais, dispostos em várias centenas de linhas, e a imagem que é mostrada muda em centésimos de segundo. Assim, para apresentar um noticiário de 15 minutos, o televisor tem de processar com exactidão mais de um bilião de unidades de informação.

A tecnologia da televisão tornou-se possível graças a uma característica peculiar da visão humana — as imagens são retidas na retina do olho do espectador durante uma fracção de segundo depois de a atingirem. Por isso, se se mostrarem imagens pedaço a pedaço a uma velocidade suficiente, pode criar-se a ilusão de uma imagem completa; e se se alterar a imagem no ecrã 25-30 vezes por segundo pode representar-se realisticamente o movimento.

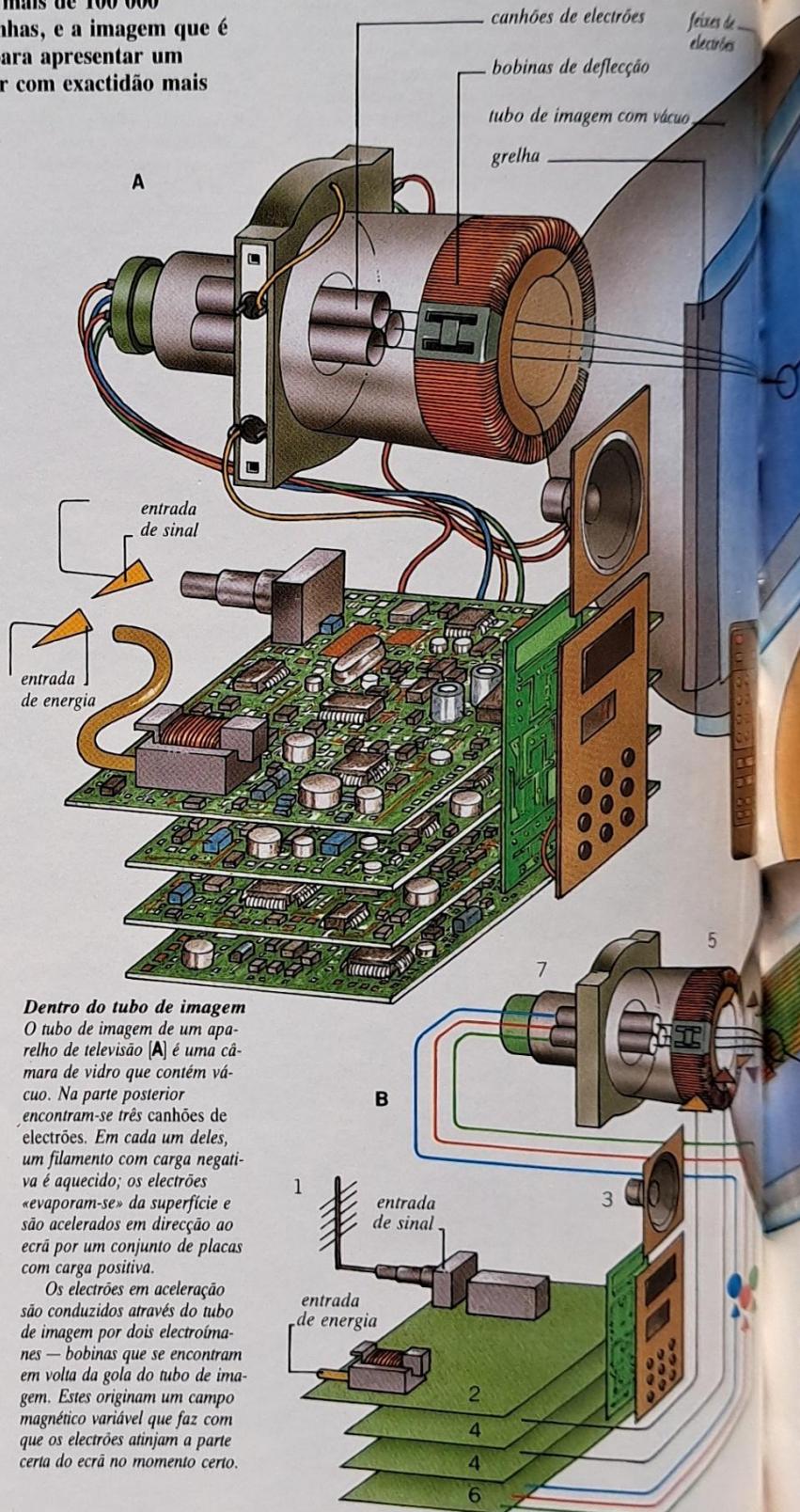
Construir uma imagem

O interior dos ecrãs de televisão está revestido de milhões de minúsculos pontos de um composto *fluorescente* — que emite luz quando é atingido por electrões de alta velocidade. Um estreito feixe de electrões produzido no tubo de imagem do televisor é disparado sobre o ecrã num padrão predefinido, fazendo com que os pontos fluorescentes se iluminem em sequência. Para cada nova imagem, o feixe começa por ser dirigido para o topo esquerdo do ecrã; em seguida varre horizontalmente o ecrã até atingir o topo direito. O feixe é então momentaneamente desligado antes de reaparecer logo abaixo da sua posição de partida inicial, altura em que uma nova linha horizontal é «pintada» no ecrã. Cada imagem completa é constituída por 625 (ou 525 nos Estados Unidos) destas «linhas» horizontais e cada conjunto de 625 linhas é pintado no ecrã em aproximadamente um trigésimo de segundo.

Cor, luz e sincronização

Cada varrimento de linha é efectuado num milésimo de segundo. Neste curtíssimo espaço de tempo, faz-se variar a intensidade do feixe de electrões, fazendo com que alguns pontos fluorescentes brilhem intensamente, enquanto outros não emitem qualquer luz. Deste modo, as zonas claras e escuras de uma imagem podem ser reproduzidas sobre o ecrã de televisão.

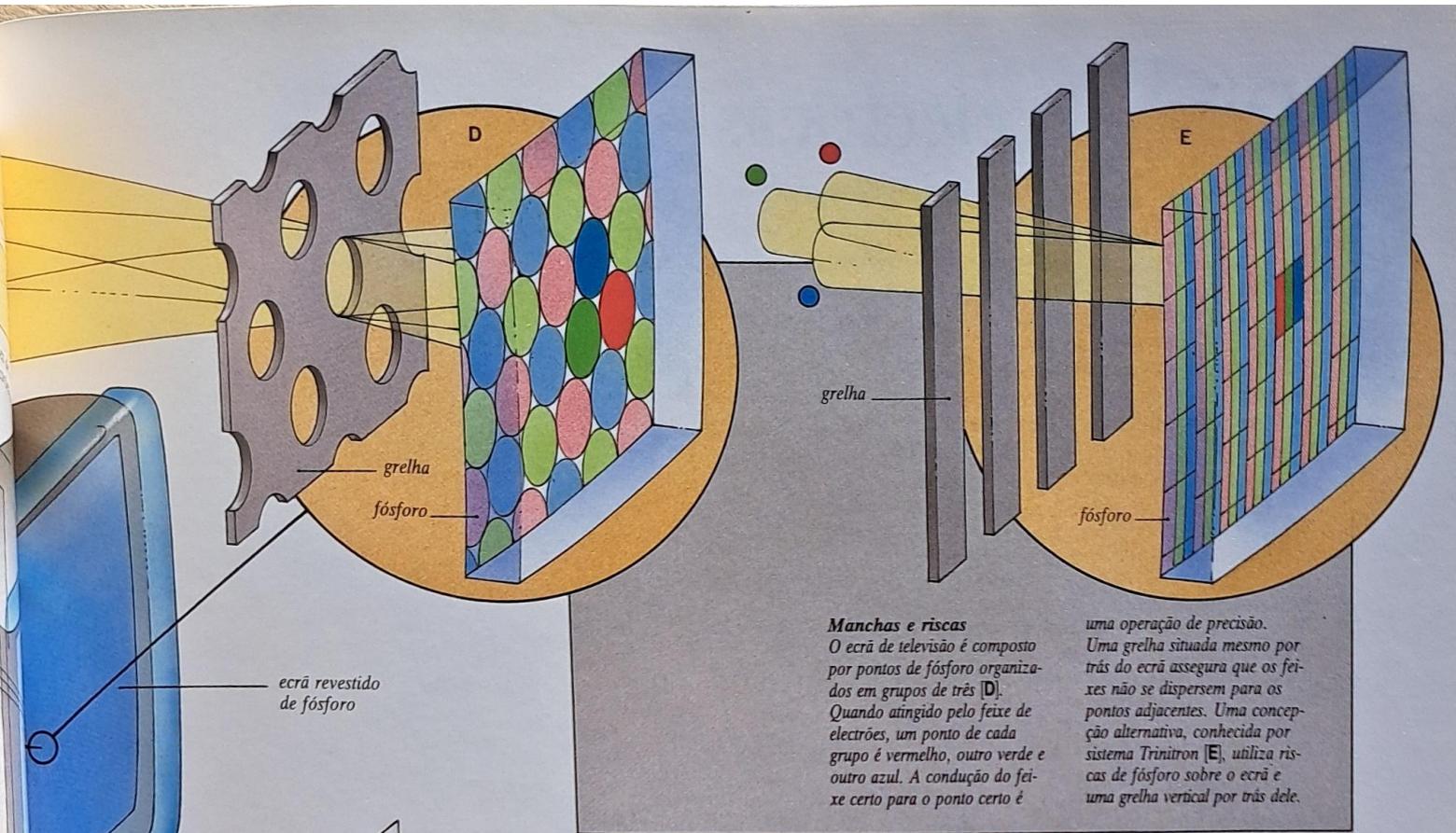
Os televisores a cores têm não um mas três «canhões» de electrões, que disparam sobre o ecrã feixes paralelos de electrões. Cada canhão é responsável pela iluminação das componentes vermelha, azul ou verde da imagem. Se se misturar a emissão dos canhões de electrões podem reproduzir-se no ecrã quase todas as cores. A combinação do vermelho com o verde dá amarelo; o azul com o verde dá uma cor azulada chamada ciano; o vermelho misturado com o azul dá o magenta; e as três cores em conjunto têm como resultado o branco. Quando uma linha é varrida, a emissão de cada canhão é controlada, de modo a produzir uma determinada cor em cada ponto ao longo de todo o seu comprimento. A emissão de cada canhão, e, por isso, o brilho e a cor de cada ponto da linha varrida, é controlada pelo sinal televisivo, que é captado pela antena do receptor ou lhe é transmitido através de um cabo. O sinal também transmite



Dentro do tubo de imagem

O tubo de imagem de um aparelho de televisão [A] é uma câmara de vidro que contém vácuo. Na parte posterior encontram-se três canhões de electrões. Em cada um deles, um filamento com carga negativa é aquecido; os electrões «evaporam-se» da superfície e são acelerados em direcção ao ecrã por um conjunto de placas com carga positiva.

Os electrões em aceleração são conduzidos através do tubo de imagem por dois electroímãs — bobinas que se encontram em volta da gola do tubo de imagem. Estes originam um campo magnético variável que faz com que os electrões atinjam a parte certa do ecrã no momento certo.



Manchas e riscas

O ecrã de televisão é composto por pontos de fósforo organizados em grupos de três [D]. Quando atingido pelo feixe de electrões, um ponto de cada grupo é vermelho, outro verde e outro azul. A condução do feixe certo para o ponto certo é

uma operação de precisão.

Uma grelha situada mesmo por trás do ecrã assegura que os feixes não se dispersem para os pontos adjacentes. Uma concepção alternativa, conhecida por sistema Trinitron [E], utiliza riscas de fósforo sobre o ecrã e uma grelha vertical por trás dele.

ecrã revestido de fósforo

vertical no ecrã. Os sinais de cor e de brilho passam para um circuito de descodificação [6] antes de chegarem aos três canhões de electrões situados na base do tubo de imagem [7]. Cada canhão produz um feixe separado que corresponde ao vermelho, ao verde e ao azul da imagem. O brilho e a cor são controlados pela moderação da potência do feixe momento a momento.

Quando os feixes de electrões emergem dos respectivos canhões, são conduzidos pelos ímanes situados à volta da gola do tubo de imagem, que são, por sua vez, controlados pelos impulsos de sincronização do sinal televisivo. O feixe é desviado da esquerda para a direita e de cima para baixo, pintando filas de linhas horizontais no ecrã.

O número de imagens, ou fotogramas, que a televisão mostra é limitado a 30 por segundo. Este ritmo é demasiado lento para enganar a vista de modo a que vejamos uma imagem contínua e a imagem parece tremeluzir. Para reduzir este efeito, cada fotograma é, na realidade, mostrado duas vezes [C]. Quando o feixe de electrões passa pelo ecrã abaixo, pinta linha sim linha não. Um trigésimo de segundo mais tarde, pinta a mesma imagem nas linhas que saltou na primeira passagem. Cada fotograma é o resultado de duas passagens dos três canhões de electrões sobre o ecrã.

gem sejam postos em conjunto pela ordem correcta. Esta transmissão complexa é captada por uma antena [1] e passa para um circuito de detecção [2], onde a estação pretendida é sintonizada. O sinal é então dividido: os sinais sonoros passam para um altifalante [3]. Os sinais de sincronização passam para os circuitos de sincronização [4], onde são divididos em duas componentes antes de passarem para os electroímãs situados à volta da gola do tubo de imagem [5]. Uma componente (a amarelo) define a posição horizontal do feixe; a outra (a laranja) define a sua posição

impulsos de sincronização para assegurar que os canhões de electrões disparem sobre a parte certa do ecrã na altura certa. Sem esta informação, a imagem televisiva não passaria de um emaranhado irregular de manchas coloridas.

Qualidade e quantidade

O enorme volume de informação codificada necessário à transmissão de uma imagem televisiva impõe limites à sua resolução — o nível de pormenor que uma imagem pode ter. Cada canal de televisão requer uma largura de banda de 6 megahertz — 600 vezes mais do que a ocupada por uma estação de rádio. O aumento da resolução exige que o canal transporte uma quantidade de informação ainda maior, o que, por sua vez, aumenta a sua largura de banda. As frequências disponíveis em qualquer zona para a transmissão televisiva são limitadas: aumentar a qualidade da imagem limita, portanto, o número de estações disponíveis para os espectadores. O serviço de televisão actual é, portanto, uma solução de compromisso entre a qualidade de imagem e a escolha de canais.

O advento da televisão por cabo e os avanços na tecnologia das fibras ópticas irão permitir que muito mais canais possam funcionar em simultâneo sem interferirem uns com os outros, acabando, assim, com as restrições actuais à resolução. A televisão de alta definição (HDTV) — com uma qualidade de imagem comparável à do cinema — pode em breve tornar-se um aparelho normal nas nossas salas de estar.

O desenvolvimento de novos sistemas de televisão dependerá não só da disponibilidade de tecnologia avançada mas também dos aspectos económicos da ligação de milhões de casas a uma rede de cabos de fibras ópticas. Qualquer sistema de televisão de alta definição futuro terá de ser também capaz de transmitir programas feitos no formato actual, para satisfazer a procura de repetições de velhos programas por parte dos espectadores.

Do sinal ao ecrã

Os programas de televisão são transmitidos por um sinal composto [B]. A imagem é definida por sinais que transportam informação acerca da cor e do brilho; o som é transmitido por um sinal áudio separado e os sinais de sincronização fazem com que os elementos da ima-

Imagens eléctricas

De que modo as câmaras de vídeo podem armazenar imagens em movimento

As primeiras câmaras de televisão tinham um contraste tão mau que os actores tinham de usar *bâton* preto nos lábios para que estes se vissem. As câmaras de vídeo modernas podem registar imagens pormenorizadas à luz da vela e contêm todas as componentes de um estúdio de televisão em miniatura. A sua lente *zoom* concentra a luz sobre um circuito integrado detector que divide a imagem em 300 000 pontos e produz um sinal eléctrico. Este passa para uma cabeça em movimento que acumula informação sobre o brilho, a cor e os sons da cena numa fita de gravação com a espessura de um cabelo humano.

Tal como as câmaras de filmar, as câmaras de vídeo registam uma cena em movimento sob a forma de uma série de imagens paradas. No caso da câmara de vídeo, as imagens paradas são constituídas por uma grelha de *pixels* — correspondendo cada um deles a um ponto de luz no ecrã de televisão. Uma lente *zoom* foca a luz, proveniente da cena que está a ser gravada, num CCD (dispositivo para acoplamento de carga). Trata-se de um *chip* de silício cuja superfície tem gravada uma grelha de centenas de milhares de sensores luminosos. Quando estes são lidos linha a linha, originam um formato de onda eléctrica, em que as cristas e os vales correspondem às zonas brilhantes e às sombras da cena.

Colorir

A câmara utiliza as propriedades especiais da luz vermelha, verde e azul para gravar a cor. Estas cores chamam-se cores *primárias* porque em diferentes combinações podem reproduzir todas as outras cores do arco-íris. Um pequeníssimo filtro situado em frente do CCD, constituído por ranhuras com apenas um quinquagésimo de milímetro de largura, separa a luz nestas cores, que são individualmente captadas por detectores em grupos de três. O sinal que emitem contém informação que faz iluminar os respectivos pontos vermelhos, verdes e azuis no ecrã de televisão. As câmaras mais sensíveis utilizam um sistema de prismas para separar a luz nas suas componentes primárias, que são em seguida detectadas por três CCD diferentes.

Se passar demasiada luz para o CCD, este *satura-se*, produzindo uma imagem completamente branca. O processador pode evitar isto fechando o *diafragma* da lente (tal como acontece com a do olho humano) ou fazendo com que o CCD capte a luz durante um tempo mais curto para cada fotograma.

Registo em fita

Todos os gravadores utilizam pequenos electroímãs — *cabeças de gravação* — para armazenar um sinal sob a forma de padrões de magnetização dentro de uma determinada quantidade de fita revestida de plástico. Para as gravações áudio, a fita passa pelas cabeças a 4,8 cm/s. Mas os sinais áudio contêm muito menos informação do que os vídeos, que necessitam de uma *velocidade de escrita* de muitos metros por segundo. Se o sinal fosse gravado em linha recta ao longo da fita, seriam necessários muitos quilómetros de fita para armazenar um pequeno programa. Para evitar isto, os gravadores de vídeo utilizam um truque chamado *exploração helicoidal*. Cabeças de gravação muito estreitas são montadas sobre tambores, que giram mais de 2000 vezes por minuto. A fita passa lentamente na diagonal sobre a superfície do tambor, de modo a que o sinal seja registado sob a forma de uma série de finas linhas diagonais ao longo da fita. Este padrão pode satisfazer a densidade de dados necessária ao vídeo.

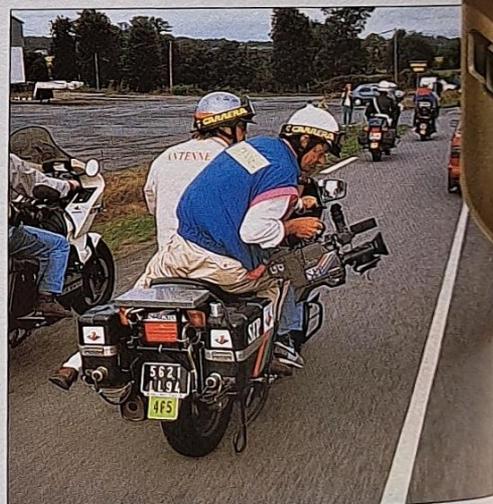
Imagens em movimento

A luz que entra numa câmara de vídeo [A] é focada pelas muitas faces de vidro de uma lente *zoom* [1]. O feixe passa em seguida por um prisma *dicroico* [2] — blocos de vidro revestidos de filtros de cor. Este separa a luz nas suas cores primárias: vermelho, azul e verde. Cada uma delas é dirigida para um *chip* individual com um sensor de luz de CCD [3], que converte a imagem num sinal electrónico, enviado para a cabeça do vídeo [9] e registado numa fita magnética com o som proveniente do microfone [4]. O visor [5] — um televisor em miniatura — mostra as imagens à medida que estas vão sendo gravadas.

São estes mesmos princípios que funcionam no interior de uma câmara de vídeo profissional, cujo pouco peso torna possível gravar a partir de uma moto (à direita).

A

5



Dispositivos para acoplamento de carga (CCD)

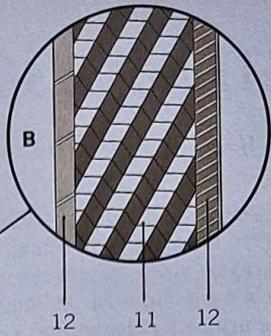
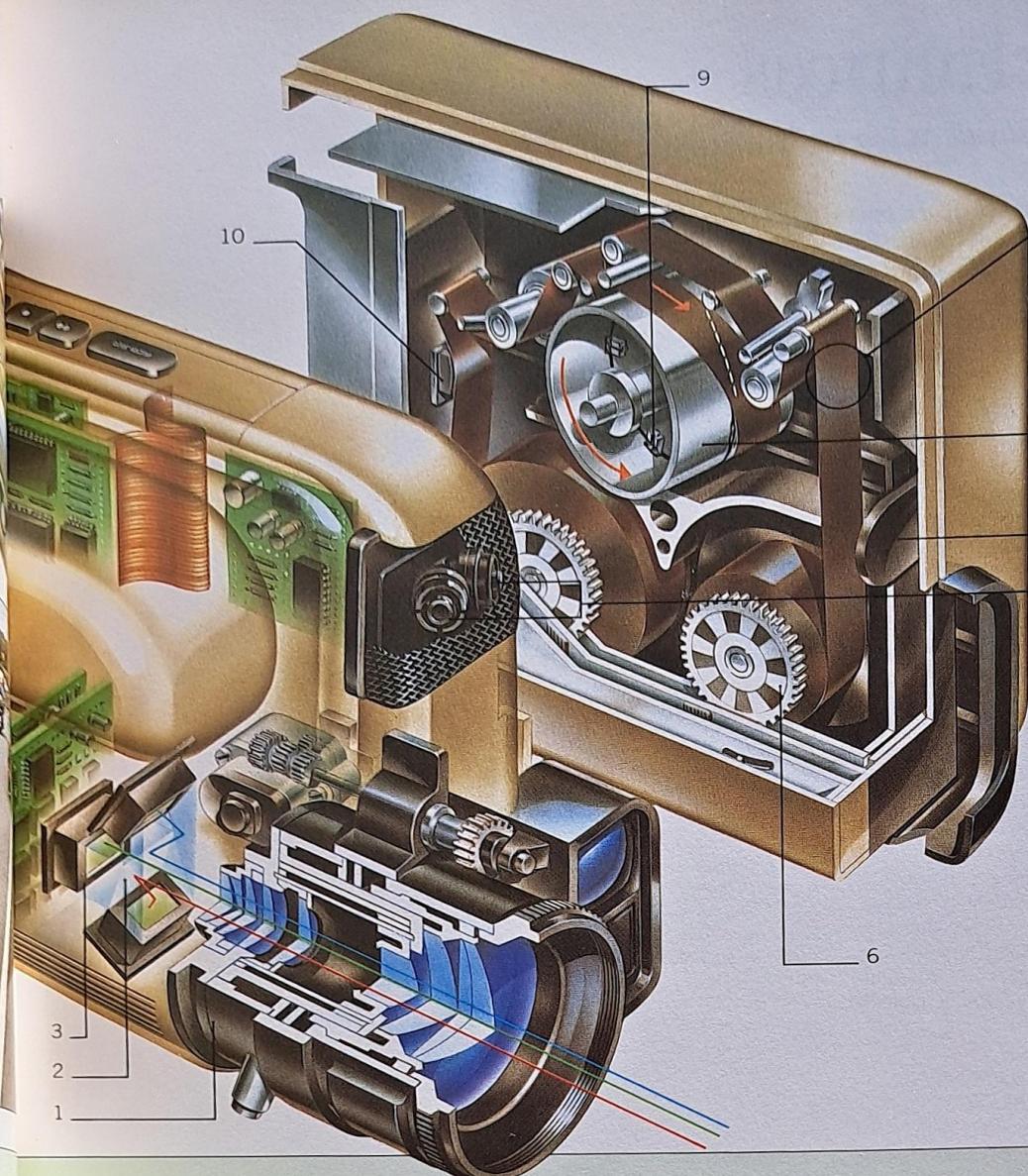
O CCD é uma sanduíche de silício sensível à luz por cima de uma base de electrodos metálicos. No meio fica uma camada de dióxido de silício isolador. Este dispositivo funciona repetindo dois passos 25 vezes por segundo. No primeiro, os *fótons* (partículas de luz) embatem nos átomos de silício existentes no corpo do CCD, libertando electrões negativos. Um eléctrodo, montado por cima de cada *pixel* e separado do silício por uma camada isoladora, capta os electrões com uma voltagem positiva. Quando mais luz incide sobre o CCD, forma-se uma «imagem», sendo as zonas claras representadas por *pixels* contendo grandes números de electrões. A segunda fase é a «leitura» desta imagem a partir do *chip*, um *pixel* de cada vez, para originar um sinal vídeo.

Os CCD são utilizados em dispositivos como as fotocopiadoras e os faxes, assim como nas câmaras de vídeo. Mas os maiores e mais sofisticados são utilizados nos telescópios astronómicos e contêm mais de 4 milhões de elementos sensores de imagem (*pixels*) numa área de $5,5 \times 5,5$ cm. Estes são mais de 25 vezes maiores do que os CCD das câmaras de vídeo, são sensíveis a uma luz muito mais fraca do que as placas fotográficas e têm uma gama de comprimentos de onda maior.

Carregamento

Quando os *fótons* («pacotes de luz») que entram atingem os átomos de silício do interior do *chip* do CCD, expulsam electrões no que é conhecido por efeito fotoeléctrico. Os electrões, que têm carga negativa, são atraídos para uma voltagem positiva no meio dos três electrões que se encontram por baixo de cada *pixel* [1]. Assim, a intensidade da luz da cena que está a ser gravada é captada em termos do número de electrões de cada *pixel*.

Periodicamente, a quantidade de carga é medida. Faz-se com que a voltagem positiva ondula ao longo dos electrões de cada coluna de *pixels*, «arrastando» os electrões de um *pixel* para outro [2]. Os dados são transferidos para um CCD a linha única, com o seu próprio conjunto de electrões que em



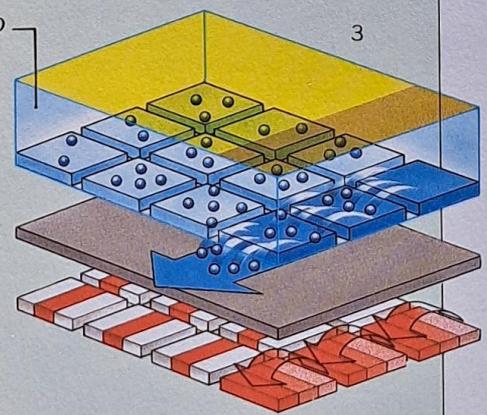
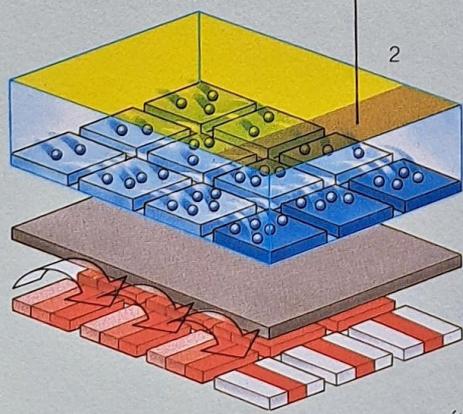
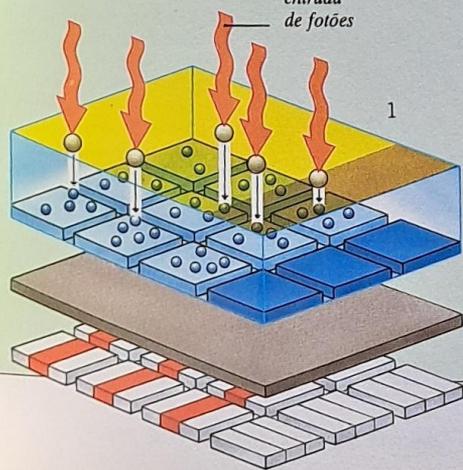
Cabeças giratórias

Quando se insere uma cassette [6] numa câmara de vídeo, há uma patilha protectora [7] que se levanta. Os rolos condutores puxam a fita magnética para fora da cassette e enrolam-na à volta do tambor de gravação [8]. Este roda na direcção oposta ao movimento da fita, tendo, por isso, uma velocidade relativa elevada. Uma velocidade de escrita elevada permite que as cabeças de gravação [9] armazenem a grande quantidade de dados necessária a uma imagem vídeo na mínima quantidade de fita. Uma segunda cabeça [10] imprime a banda sonora e uma pista de controlo.

A exploração helicoidal [B], movimento das cabeças de gravação sobre o tambor de gravação giratório e inclinado, origina um padrão característico, em forma de espinha de peixe, sobre as partículas magnetizadas da fita [11]. A informação vídeo fica numa série de longas riscas diagonais, ladeadas pelas bandas sonora e de controlo [12].

purram cada grupo de electrões, um após outro, para um terminal existente na sua extremidade [3]. Depois de «lida» toda a linha, todo o processo se repete, de modo a que a linha seguinte seja transferida para o CCD horizontal. Deste modo, todos os electrões capturados no chip sensor são transferidos para o terminal, criando um formato

de onda contínuo. As cristas desta onda correspondem aos pixels mais brilhantes, em que se encontra capturado o maior número de electrões.



- pixel
- dióxido de silício
- átomo de silício
- electrão
- eléctrodo

Visões do futuro

Como será transmitida e vista a televisão no futuro

Um satélite televisivo transmite, 35 900 quilómetros acima da superfície terrestre, as emissões de muitas estações para todo um continente. Por baixo das ruas das nossas cidades passam cabos de fibras ópticas, que proporcionam uma escolha ainda maior ao espectador. A própria televisão está a mudar — os serviços digitais de alta definição irão proporcionar imagens de ecrã largo semelhantes às do cinema e som envolvente. A tendência é para a tecnologia dos ecrãs planos que podem ser pendurados na parede. Através desta nova geração de ecrãs, as pessoas terão acesso a novos meios em disco, desde jogos a fotografias de férias.

Uma antena parabólica doméstica pode receber sinais provenientes de uma constelação de emissores que giram à volta da Terra em órbitas geostacionárias. Cada estação é transmitida por um satélite para a respectiva «sombra» — a área para onde está apontado — com apenas 100 watts de potência, quantidade idêntica à utilizada por uma lâmpada. Quando chega à superfície, o sinal é mais fraco do que a corrente do motor de um relógio de pulso e, no entanto, uma única antena pode captar ondas provenientes de inúmeras estações diferentes.

Mas mesmo esta explosão na escolha de programas disponíveis é minúscula comparada com as capacidades de uma rede digital. Em vez de uma onda de televisão convencional, que varia continuamente para representar o brilho de um determinado ponto, os sinais digitais utilizam números para representar o brilho e a cor de cada ponto de um ecrã. As fibras ópticas podem transportar centenas destes sinais para uma casa e podem ser utilizadas interactivamente — pelo mesmo caminho que levou um programa, um espectador pode votar, jogar jogos ou pedir repetições de programas.

Mais largo, mais nítido e mais plano

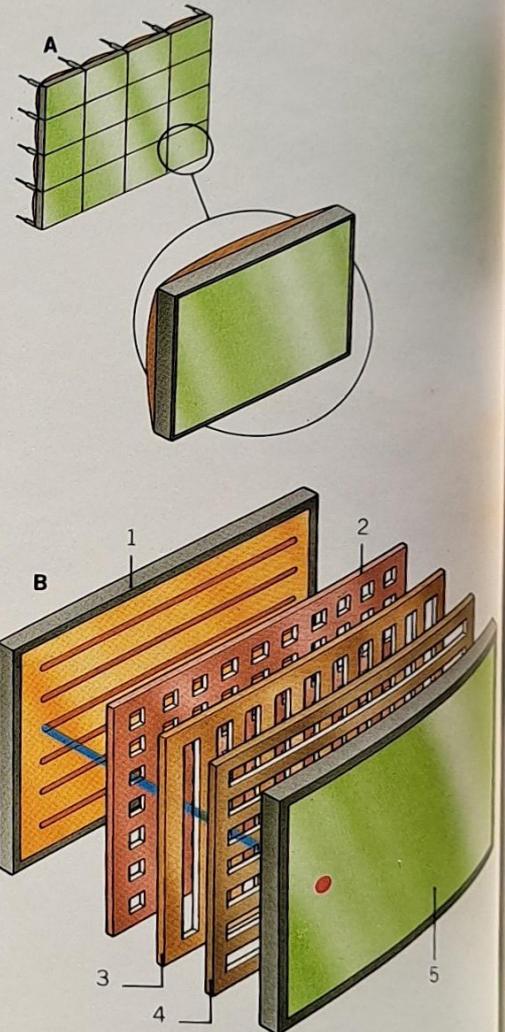
Estes sinais digitais são essenciais para a próxima geração de ecrãs de televisão — a televisão de alta definição. Actualmente, na Europa, as imagens televisivas têm 625 linhas (525 nos Estados Unidos e no Japão). Uma imagem de televisão de alta definição terá 1250 linhas (1125 no Japão), o que quase duplica o número de píxeis por centímetro para dar uma imagem mais nítida. Ao mesmo tempo, os ecrãs tornar-se-ão mais largos para se assemelharem à forma dos de cinema.

Quase todos os grandes televisores existentes são construídos à volta de tubos de raios catódicos. Estes contêm canhões de electrões volumosos e grandes consumidores de energia, o que os torna inapropriados para os modelos verdadeiramente portáteis. Grandes painéis de cristais líquidos a cores, versões expandidas do ecrã típico dos computadores portáteis, são o Santo Graal da investigação actual. Mas o problema é que estes ecrãs não reagem com suficiente rapidez para poderem tratar um sinal televisivo contendo 50 fotogramas por segundo. Outra desvantagem é a enorme despesa de construção dos grandes ecrãs — mesmo um do tamanho de um pequeno televisor de tubo de raios catódicos custa mais de 10 000 dólares. Mas é provável que os preços caiam quando se iniciar a produção em massa.

É possível obterem-se imagens maiores, se bem que menos nítidas, com sistemas de projecção baseados quer em tubos de raios catódicos quer em ecrãs de cristais líquidos. Com estes sistemas, toda a parede de uma sala pode ser coberta por uma imagem, embora uma imagem com mais de 100 cm de largura mostre claramente a má resolução das normas actuais de televisão.

Televisão espalmada

Em vez de se concentrarem no desenvolvimento de ecrãs de cristais líquidos para televisão de ecrã plano, algumas empresas reinventaram o tubo de raios catódicos. Os tubos de raios catódicos convencionais produzem um feixe de electrões que é deflectido por uma bobina magnética para varrer todo o ecrã. A versão de ecrã plano [A] divide o ecrã numa matriz de cerca de 10 000 células. Cada célula [B] é uma sanduíche de seis camadas. Na parte de trás, cátodos em faixas [1] geram electrões que são em seguida reforçados e focados em feixes pela placa seguinte [2]. Os feixes passam através de placas de deflexão horizontais [3] e verticais [4] que deslocam os feixes de um lado para o outro e de cima para baixo, para varrerem o ecrã [5]. Como cada feixe de electrões é responsável por uma pequeníssima área e não por todo o ecrã, o resultado é um televisor mais espalmado, com 10 cm de espessura em vez de 34.



Ecrãs de cristais líquidos

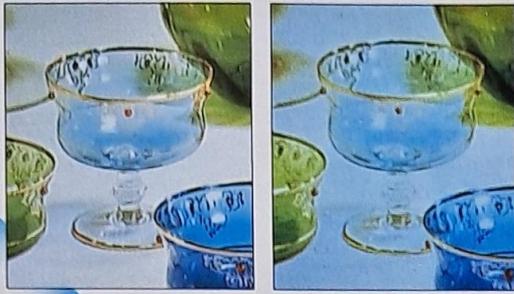
Os cristais líquidos são compostos que fluem como os líquidos, mas cujas moléculas têm uma estrutura cristalina. A utilidade dos cristais líquidos nos ecrãs advém do efeito que têm sobre a luz. A luz é constituída por ondas transversais que vibram perpendicularmente à direcção em que se deslocam. Normalmente, as ondas luminosas vibram em todas as direcções possíveis, mas um polarizador bloqueia todas as ondas, excepto as que vibram numa determinada direcção. As moléculas de cristais líquidos alinham-se naturalmente em espiral e este padrão distorce a polaridade da luz.

Num ecrã de cristais líquidos, a luz que passou através de um polarizador tem a sua polarização deslocada 90° pelos cristais líquidos. Isto significa que a luz pode passar através de um segundo polarizador perpendicular ao primeiro e ser vista pelo espectador. Uma voltagem que passa através dos cristais líquidos faz com que as moléculas se desenrolem e, assim, bloqueiem a luz.

Ecrã de cristais líquidos

Uma das aplicações mais simples dos cristais líquidos é um ecrã numérico de sete segmentos. O cristal líquido fica entre duas placas de vidro, cada uma das quais tem cravados sete electrodos transparentes, que, quando activados, criam campos eléctricos através do cristal líquido.

Um polarizador só permite a passagem através do líquido [1] das ondas luminosas que vibram numa determinada direcção. As moléculas em espiral do cristal líquido desviam a polarização da luz em 90°. A luz pode passar por um segundo polarizador até ao ecrã. Mas, quando se aplica uma voltagem num segmento, as moléculas alinham-se ao longo do



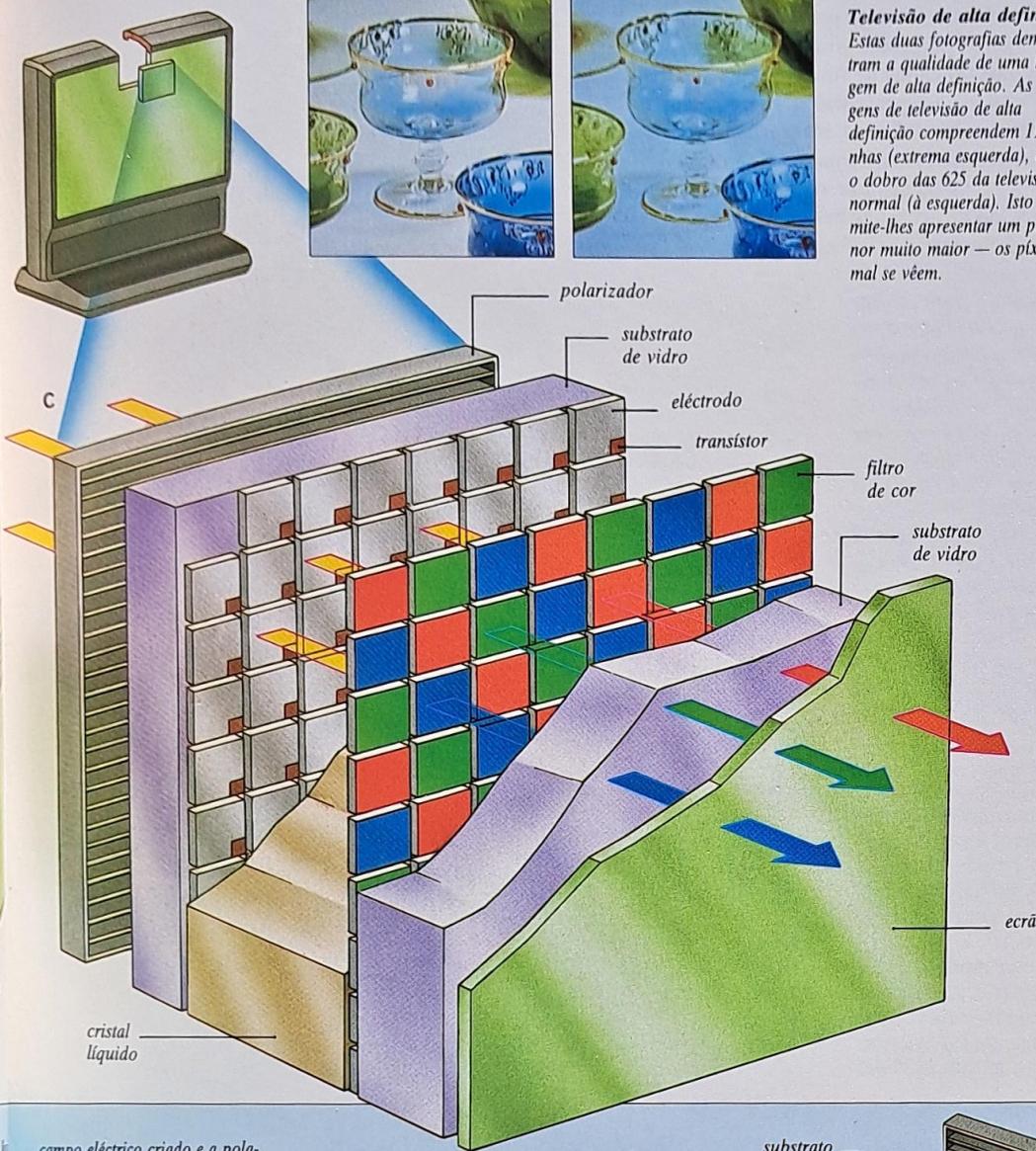
Televisão de alta definição

Estas duas fotografias demonstram a qualidade de uma imagem de alta definição. As imagens de televisão de alta definição compreendem 1125 linhas (extrema esquerda), quase o dobro das 625 da televisão normal (à esquerda). Isto permite-lhes apresentar um pormenor muito maior — os píxeis mal se vêem.

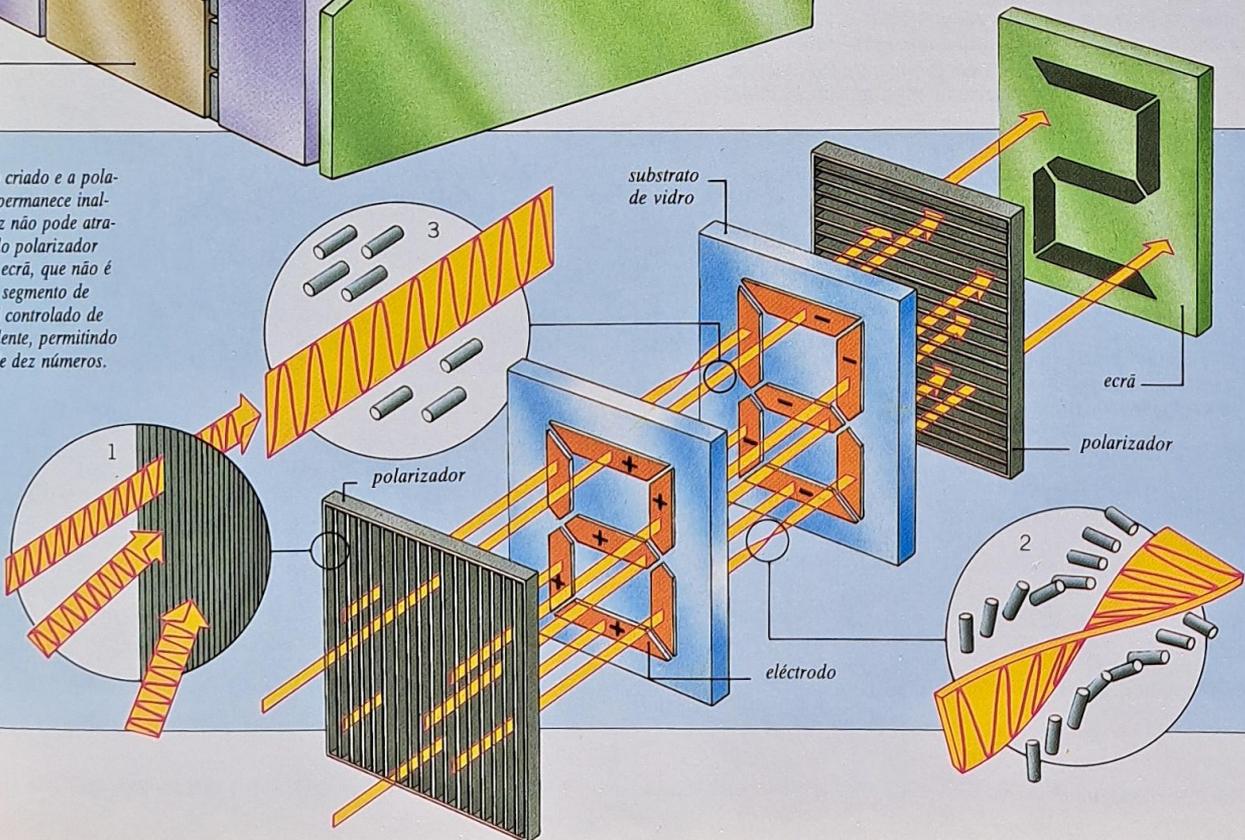
Claro como cristal

Quase todos os televisores de cristais líquidos que estão actualmente a ser desenvolvidos são de «matriz activa» (C). O ecrã é dividido numa matriz de centenas de milhares de células independentes, ou píxeis. O cristal líquido que contém permite que a luz passe apenas quando se aplica uma voltagem nos eléctrodos situados à frente e atrás de cada célula. Quando a voltagem é desligada, aparece um ponto no ecrã; quando a voltagem é ligada, não é transmitida qualquer luz. A grelha está activa porque a corrente para cada píxel é ligada e desligada por um transistor minúsculo que se encontra no canto dos eléctrodos mais recuados. Se se activar cada transistor independentemente, aparece uma imagem no ecrã.

Uma camada de filtros coloridos situada na parte da frente do sanduíche produz uma das três cores primárias a partir da luz branca que a atravessa. Estas três cores podem ser utilizadas, em diferentes combinações, para produzir todos os tons do arco-íris.



campo eléctrico criado e a polarização da luz permanece inalterada [3]. A luz não pode atravessar o segundo polarizador para chegar ao ecrã, que não é afectado. Cada segmento de cristal líquido é controlado de modo independente, permitindo a reprodução de dez números.



Fixar a imagem

Como uma câmara tira uma fotografia

Lançada em 1888 com o slogan «Você carrega num botão, nós fazemos o resto», a câmara Kodak levou a arte da fotografia às massas. A fotografia é hoje um dos passatempos mais populares do mundo e tirar uma fotografia nunca foi tão simples. As câmaras modernas contam com a tecnologia dos circuitos integrados para calcular a exposição e a focagem. Equipadas com um sistema óptico sofisticado, colocam resultados de profissional ao alcance do amador. Mas todas as câmaras, por mais sofisticadas que sejam, têm em comum a mesma estrutura básica, que mudou pouco desde os primeiros tempos da fotografia.

Uma câmara é essencialmente uma caixa à prova de luz, com uma lente numa extremidade e uma película na outra. Quase todas as câmaras permitem também um certo controlo sobre a focagem e a *exposição* — a quantidade de luz que incide na película —, de modo a maximizar a nitidez e a fidelidade da imagem que se forma.

As câmaras são produzidas em vários tamanhos ou *formatos* (determinados pelo tamanho ou pela película utilizada) para responder a necessidades diferentes. De um modo geral, quanto maior for a película, melhor será a resolução; é por isso que os fotógrafos de paisagens ou de publicidade tendem a utilizar câmaras volumosas, carregadas com placas de película, que podem medir até 26 x 20 cm. Os amadores preferem câmaras mais portáteis, que não necessitam de ser recarregadas após cada exposição. As mais populares câmaras deste tipo utilizam rolos de película de 35 mm de largura que podem registar 36 exposições separadas.

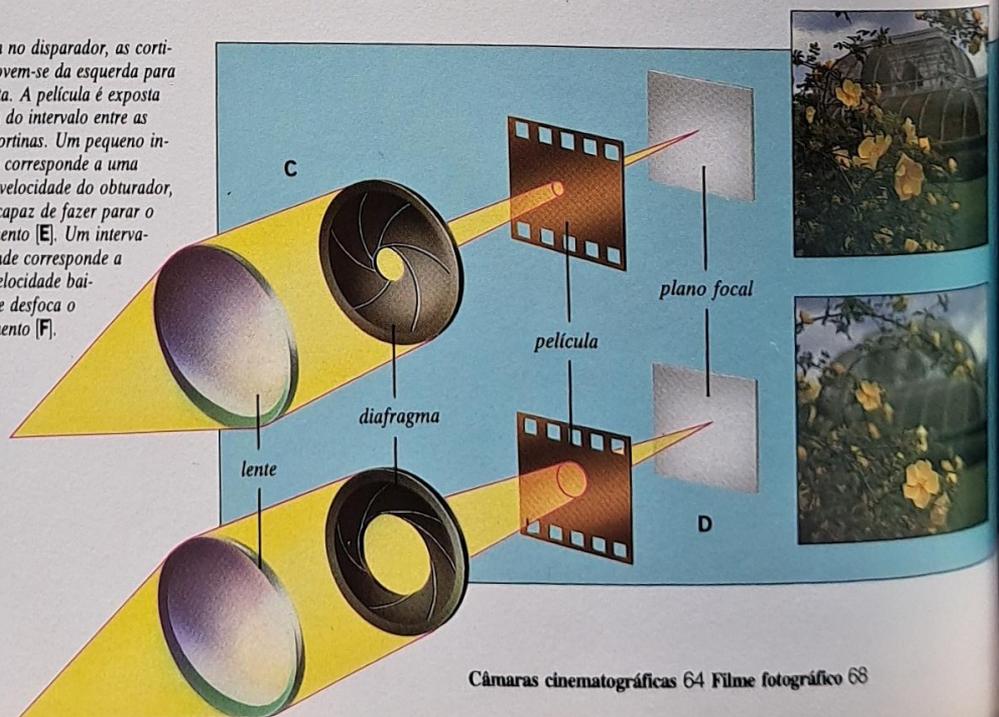
Existem duas categorias de câmaras de 35 mm — as *compactas* e as *reflex de lente única* (SLR). As câmaras compactas são mais simples, com partes móveis porque têm duas lentes. A lente principal forma a imagem, enquanto a lente do visor, mais pequena, situada a um lado, mostra o que a câmara irá registar. A desvantagem deste modelo é que há uma discrepância entre o que é visto e o que é registado, chamada erro de *paralaxe*. Uma câmara SLR é mais complexa do ponto de vista mecânico, mas mais versátil; como tem apenas uma lente através da qual a cena é simultaneamente vista e registada, evita-se o erro de paralaxe. Também se podem mudar as lentes destas câmaras sem que o visor deixe de mostrar sempre o que irá aparecer na fotografia.

Trabalho leve

A *exposição* é controlada alterando a *abertura* ou a *velocidade do obturador*. Mas a alteração de qualquer deles afecta de modo subtil a *imagem registada*. Se se marcar uma *abertura pequena* [C], aumenta-se a *profundidade de campo* — a *profundidade da cena que parece estar focada*. Tal acontece porque, quando um ponto de uma cena está desfocado na película, é registado sob a forma de um disco de pequeno diâmetro e, por isso, parece ainda relativamente nítido. Com uma *abertura maior* [D], este ponto transforma-se em disco largo e a cena registada tem uma *profundidade de campo maior*.

O obturador de uma SLR de 35 mm tem duas cortinas em frente da película. Quando se

carrega no disparador, as cortinas movem-se da esquerda para a direita. A película é exposta através do intervalo entre as duas cortinas. Um pequeno intervalo corresponde a uma maior velocidade do obturador, que é capaz de fazer parar o movimento [E]. Um intervalo grande corresponde a uma velocidade baixa, que desfoca o movimento [F].





A



Configuração compacta

O obturador das câmaras compactas [A] está normalmente situado logo atrás da objectiva [1] e não no mesmo plano da película. O obturador [2] assemelha-se ao diafragma [3] por ter a forma de um anel; é o movimento radial das suas lâminas [4] que expõe a película à luz.

A reflex de lente única

Numa câmara SLR [B], a luz entra através de uma lente composta. A quantidade de luz que entra é regulada pelo diafragma segmentado. No corpo da câmara, um espelho colocado a um ângulo de 45° reflecte a imagem para cima e projecta-a num ecrã de vidro polido. A imagem invertida é reflectida a 90° por um prisma de cinco lados (que também vira a imagem para a posição certa) e pode então ser vista no visor.

Para tirar uma fotografia, o fotógrafo carrega no disparador. O espelho inclinado sobe, saindo do caminho; uma frac-

A exposição pode ser controlada quer alterando o tamanho da abertura, através da qual a luz entra na câmara, quer alterando a velocidade do obturador — que determina o período de tempo em que a película fica exposta à luz. Nas SLR, o controlo de abertura é um diafragma de lâminas que se sobrepõem parcialmente, ajustado por um anel na lente. A abertura é calibrada por números *f-stop*; cada *stop* adicional reduz para metade a quantidade de luz que entra.

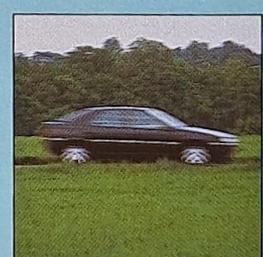
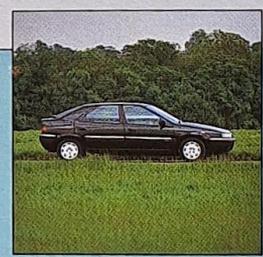
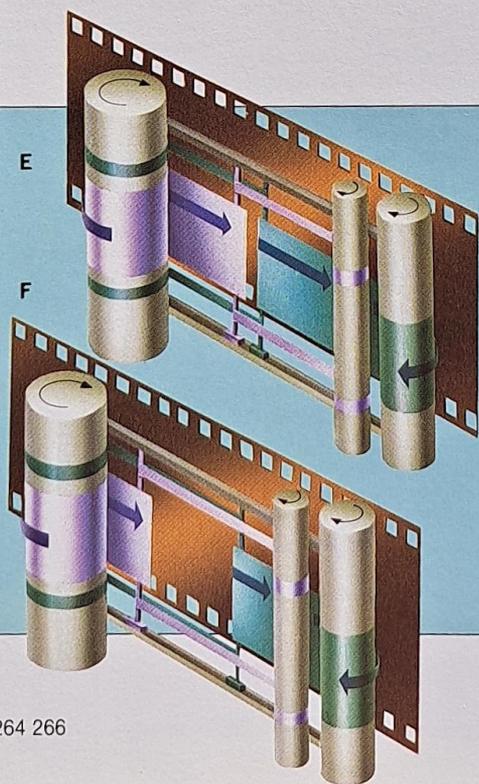
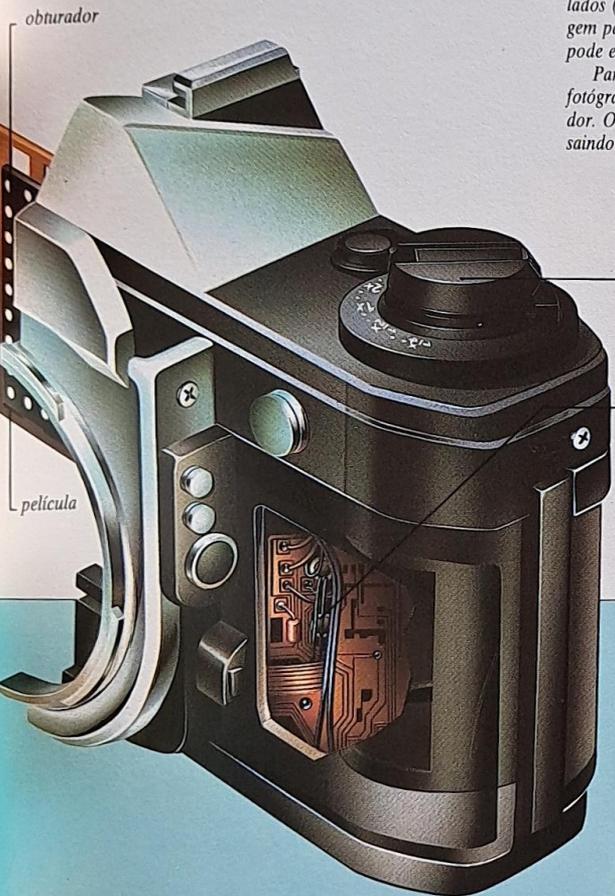
Nas SLR, a velocidade do obturador vai normalmente de 8 s a 1/1000 s. Tal como as regulações da abertura, esta é escalonada de modo a permitir que a exposição seja rapidamente aumentada para o dobro ou reduzida a metade (1/30 s, 1/60 s, 1/125 s, 1/250 s, etc.).

Quase todas as câmaras têm um fotómetro incorporado que mede a intensidade da luz e a converte num sinal eléctrico, que passa para um mostrador (uma agulha móvel ou um cristal líquido) existente no visor. O fotógrafo pode então seleccionar uma combinação apropriada de abertura e velocidade do obturador para corresponder à luz disponível.

ção de segundo mais tarde, o obturador abre-se e expõe a película.

A quantidade de luz que entra na câmara é medida por células fotossensíveis situadas à volta do pentaprisma. Na maioria das câmaras electrónicas, o fotómetro está ligado a um processador de dados que avalia as condições de iluminação e marca a velocidade do obturador e a abertura ideais, deixando o fotógrafo concentrar-se na criação de uma cena.

As câmaras sofisticadas possuem sistemas autofocus baseados em dispositivos de acoplamento de carga (CCD) — minúsculos semicondutores que detectam fotões. Estes dispositivos medem a divergência dos raios de luz depois de estes terem sido reflectidos por um espelho secundário que se encontra por baixo do espelho principal da câmara. O grau de divergência indica se uma imagem está ou não focada; um microprocessador calcula até que ponto (e em que direcção) os elementos da lente devem ser deslocados para se obter uma focagem correcta e controla os servomotores do mecanismo de autofocus.



Câmaras cinematográficas

De que modo uma câmara de filmar capta uma imagem em movimento

A câmara de filmar é a espinha dorsal daquela que é talvez a mais importante, e certamente a mais lucrativa, forma de arte do século XX. Após menos de um mês da sua estreia, o êxito de bilheteira *Parque Jurássico* obteve 236 milhões de dólares nas bilheteiras só nos Estados Unidos. A câmara de filmar revolucionou a educação e a recolha de notícias, alterou o modo como vemos o mundo e permitiu-nos testemunhar os mais importantes, emocionantes e aterradores momentos da história recente.

O olho humano não consegue distinguir imagens separadas e sucessivas que lhe sejam apresentadas a um ritmo superior a 16 imagens por segundo, vendo, em vez delas, uma cena em evolução contínua. Esta *persistência da visão* é o segredo que está por trás da câmara de filmar — instrumento destinado a captar o movimento sob a forma de uma sequência de fotografias ou *fotogramas* numa tira de película. Quando projectadas sobre um ecrã à mesma velocidade com que foram gravadas (normalmente 24 fotogramas por segundo), estas imagens criam a impressão de movimento ininterrupto.

A câmara de filmar tem em comum com a câmara fotográfica convencional uma objectiva que foca a luz sobre a película, um diafragma que faz variar a abertura (e, assim, a quantidade de luz que passa) e um obturador para expor o filme no momento desejado. Difere da câmara fotográfica pelo facto de os movimentos da película e do obturador terem de estar coordenados com precisão para produzir uma série de enquadramentos a intervalos regulares e com uma exposição correcta.

Os formatos das câmaras de filmar têm nomes que derivam da largura do filme que utilizam. Dos três mais vulgares, o Super 8 — um formato de amador que utiliza filme de 8 mm de largura — já foi quase completamente ultrapassado pelo vídeo, o 35 mm é o formato normal para o cinema e o 16 mm é onde os amadores e os profissionais se encontram, sendo muitas vezes utilizado por realizadores de documentários e de filmes experimentais.

Fotografia pára-arranca

Para ser utilizada numa câmara profissional de 35 mm, a película não exposta é cortada em tiras de 300 metros, enrolada numa bobina de metal e carregada num *carreto* que não deixa entrar a luz. O carreto é fixado ao corpo da câmara através de uma *janela*, que é um conjunto de trilhos de guia e de placas de pressão, que posiciona a película precisamente por trás de uma abertura rectangular alinhada com a objectiva. Durante o acto de fotografar, o obturador abre-se, expondo à luz, durante cerca de 1/50 de segundo, a secção de película que se encontra na janela. Nesse instante, a película mantém-se totalmente parada: o mais leve movimento durante a exposição origina uma imagem tremida. Em seguida, o obturador fecha-se, bloqueando a entrada de luz. Em menos de 1/20 de segundo, a película roda até uma determinada distância e fica pronta para a exposição seguinte.

O avanço do filme tem de ser preciso e rápido; a mais pequena discrepância entre a posição de um fotograma e a do seguinte dá, na projecção, uma imagem «tremida». O complexo movimento de pára-arranca do filme é coreografado por um sistema de pinças e de pinos que engatam em perfurações situadas a intervalos regulares ao longo de uma das extremidades da película.

Movimento e luz

O centro de uma câmara de filmar de 35 mm [A] é um dispositivo mecânico que dirige e coordena o movimento do filme e do obturador.

O motor eléctrico da câmara faz rodar um eixo motor principal. Uma engrenagem liga-o ao obturador — um espelho semi-circular —, que roda 24 vezes por segundo. Enquanto o espelho gira, permite, através de uma abertura rectangular, a entrada intermitente da luz proveniente da objectiva, que incide sobre o filme.

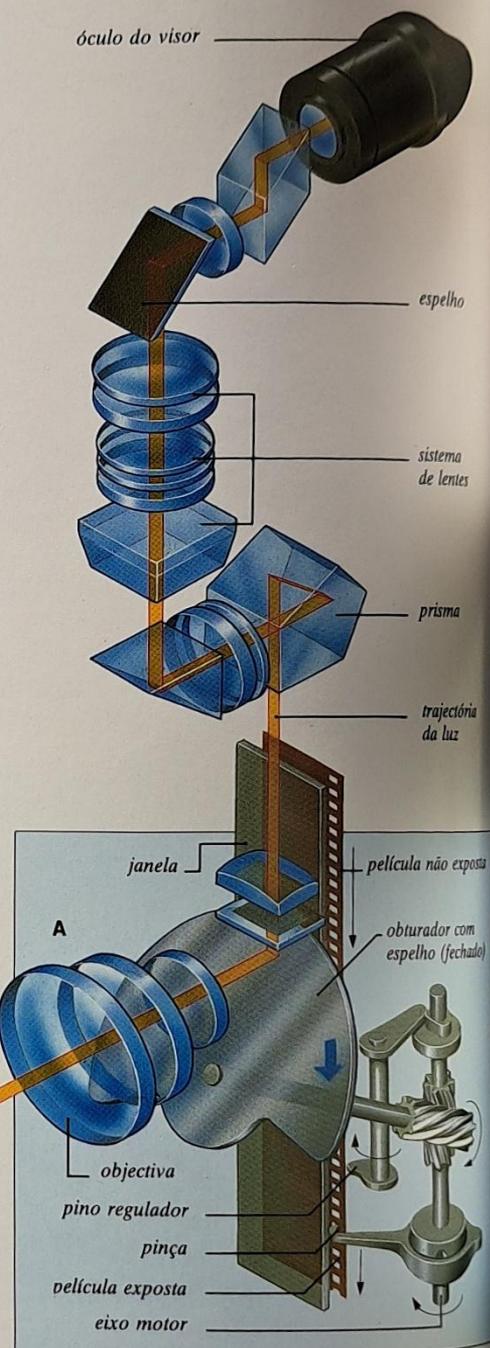
Faz-se passar a película pelo obturador por meio de uma pinça, que engata em perfurações situadas ao longo de um dos lados do filme. A pinça desloca-se para baixo, puxando o filme até uma distância determinada, antes de voltar a deslocar-se para a sua posição inicial.

A pinça é accionada por um conjunto de engrenagens até ao eixo motor principal. O sistema de engrenagens faz com que a pinça só desloque o filme para baixo quando o obturador está fechado. Quando este se abre, um pino regulador insere-se numa das perfurações laterais do filme, mantendo-o absolutamente parado durante a exposição.

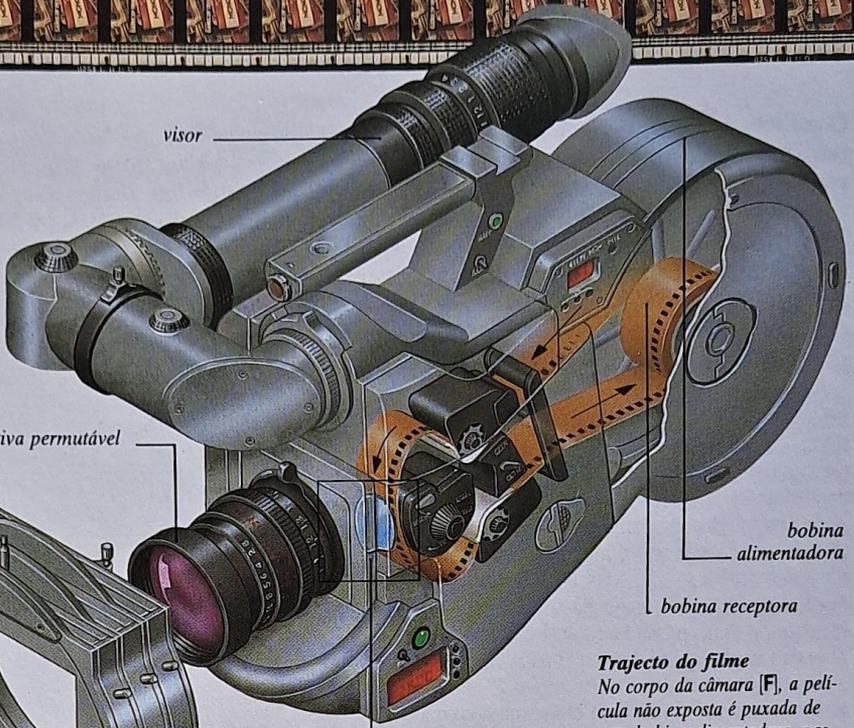
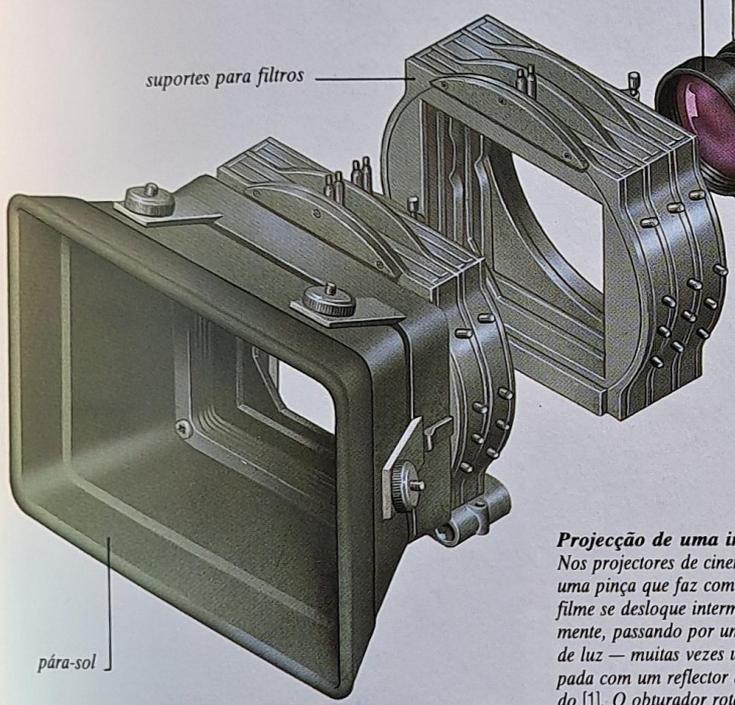
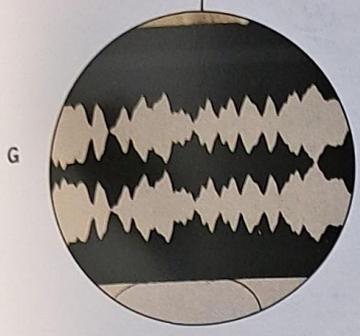
Quando está fechado, o obturador reflecte a luz proveniente da objectiva, projectando uma imagem sobre um ecrã de vidro polido. Uma série de lentes e de prismas leva esta imagem até ao visor, de modo a que o operador de câmara possa ver o que está a ser filmado.

Câmara coordenada

Quando o obturador está fechado, a pinça prende e arrasta o filme para baixo até uma distância que corresponde à altura de um fotograma [B]. Em seguida, a pinça desprende-se e começa a deslocar-se de novo para a posição inicial; enquanto isto acontece, o obturador abre-se, expondo o filme parado à



luz [C]. Quando a exposição está quase terminada [D], a pinça volta a prender, pronta para puxar o filme para o fotograma seguinte logo que o obturador se feche completamente. O pino regulador (que não se vê) prende-se no filme, mantendo-o absolutamente parado e na posição correcta durante a exposição.



suportes para filtros

visor

objectiva permutável

bobina alimentadora

bobina receptora

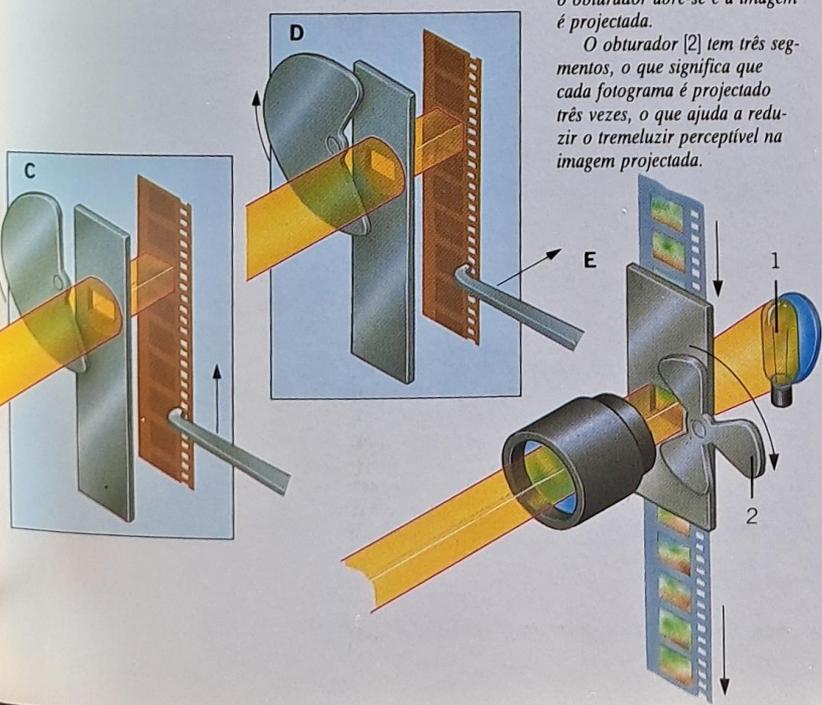
janela

pára-sol

Projecção de uma imagem

Nos projectores de cinema [E], é uma pinça que faz com que o filme se desloque intermitentemente, passando por uma fonte de luz — muitas vezes uma lâmpada com um reflector acoplado [1]. O obturador rotativo impede a passagem da luz enquanto o filme estiver em movimento. Quando o filme pára, o obturador abre-se e a imagem é projectada.

O obturador [2] tem três segmentos, o que significa que cada fotograma é projectado três vezes, o que ajuda a reduzir o tremeluzir perceptível na imagem projectada.



Trajeto do filme

No corpo da câmara [F], a película não exposta é puxada de uma bobina alimentadora, passa através da janela, onde é exposta à luz, e é em seguida enrolada numa bobina receptora, pronta para a revelação.

Após a revelação e a montagem, grava-se uma banda sonora no filme, quer sob a forma de fita magnética quer de fita óptica [G]. A pista óptica regista as ondas sonoras sob a forma de um padrão ondulante ao longo de um dos lados do filme. Durante a projecção, faz-se com que um feixe luminoso incida na pista; o seu brilho é transformado num sinal sonoro e reproduzido através de um altifalante.

Equipamento adaptável

As modernas câmaras de filmar de 35 mm [F] são instrumentos versáteis. Objectivas, suportes para filtros, visores e carretos de película permutáveis permitem que sejam configuradas para várias utilizações — desde a macrofotografia aos filmes cinematográficos.

O movimento do filme é accionado por um motor eléctrico, que também faz funcionar o obturador. Uma disposição complexa de engrenagens permite que o movimento da película e o do obturador sejam correctamente sincronizados. O motor é concebido com precisão para funcionar a uma velocidade constante quase instantaneamente desde o começo.

Decisões acertadas

Quase todos os filmes de 35 e de 16 mm têm perfurações ao longo de um dos lados, ficando a banda sonora do outro. Algumas câmaras de 16 mm gravam o som directamente no filme, através de um microfone ligado à câmara. Mas, como o filme tem de ser mantido parado para a exposição e de rodar ininterruptamente para a gravação do som, o som que corresponde a um determinado fotograma é gravado 26 fotogramas mais adiante. A separação física do som e da imagem no filme torna a montagem difícil e, na maioria das aplicações profissionais, o som é gravado em separado. A gravação de som é sincronizada com o movimento do filme por meio de um cabo que liga a câmara ao gravador ou pela utilização de impulsos sincronizadores na película e na fita de gravação.

Filme e fantasia

Como são criados os efeitos especiais nos filmes

O modelo de três metros de comprimento do transatlântico *Titanic* — a estrela do filme de 1980 *Raise the Titanic* — custou mais a construir, ao que consta, do que o navio original. Contudo, o principal objectivo dos efeitos especiais é poupar dinheiro em cenários e exteriores dispendiosos. Por isso, quase todos os bons efeitos especiais passam despercebidos — por exemplo, as ricas casas e plantações de *E Tudo o Vento Levou* foram na realidade pintadas sobre vidro — e de um modo geral só nos filmes de ficção científica mais espectaculares é que se tornam óbvios o tempo e o dinheiro gastos para criar uma fantasia credível.

Utilizando a tecnologia informática actual é possível digitalizar uma sequência de filme e manipular a imagem de quase todas as maneiras imagináveis ou até criar personagens digitais inteiramente novos. Foi assim que o actor Tom Hanks se conseguiu encontrar com presidentes dos Estados Unidos já falecidos em *Forrest Gump* e foi também assim que se deu vida ao homem de metal líquido em *Exterminador 2: o Dia do Juízo Final*. Mas estes efeitos digitais vistosos são em geral utilizados com parcimónia porque são muito caros e consomem muito tempo: alguns fotogramas do *Exterminador 2* levaram até duas horas a ser criados (há 24 fotogramas em cada segundo de acção). Por razões de economia, de tempo ou de verosimilhança, quase todos os filmes combinam a manipulação por computador com uma gama de outros efeitos de tecnologia menos sofisticada.

O instrumento mais útil no arsenal do realizador de cinema é talvez a *impressora óptica*. Trata-se simplesmente de uma câmara de filmar que grava uma sequência de filme sobre outra. A impressora óptica é muito utilizada em efeitos subtis como *dissoluções* e *desvanecimentos gra-*

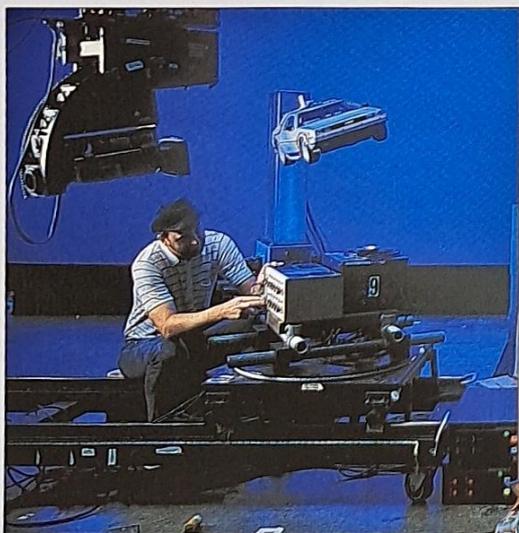
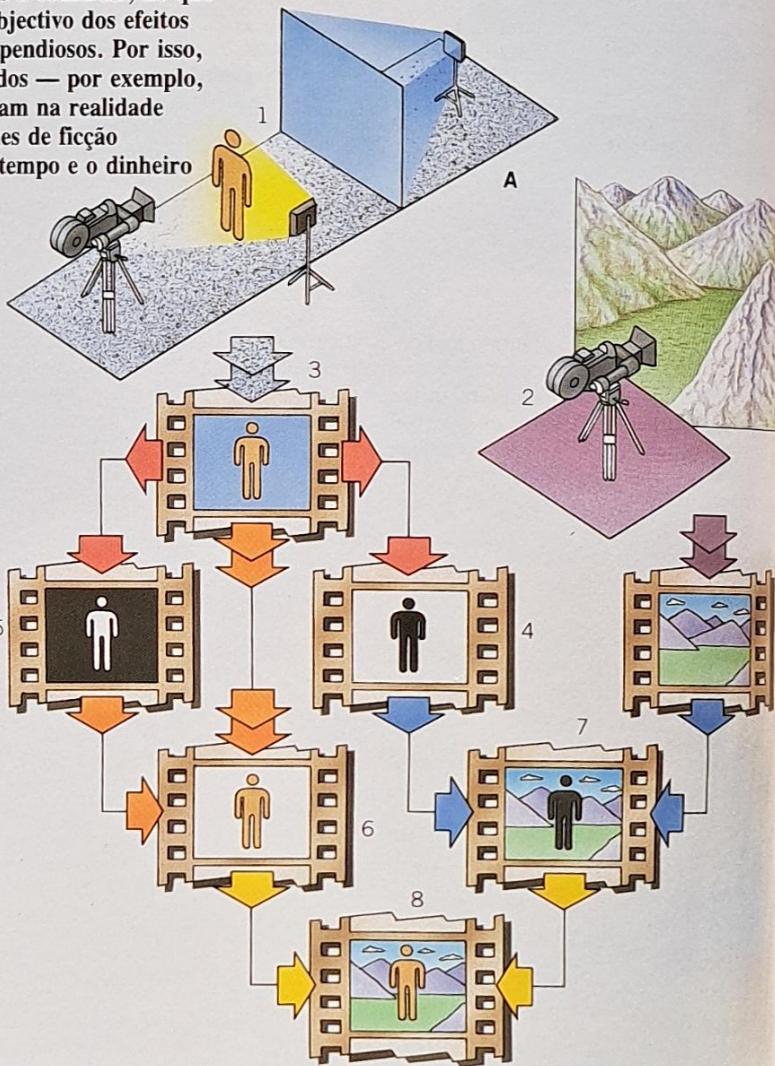


Imagem composta

Utilizando uma máscara móvel pode sobrepor-se um objecto ou um actor em movimento a qualquer fundo [A]. Esta técnica é muito utilizada para poupar dinheiro em filmagens em exteriores e para efeitos em que os actores ou os objectos parecem «voar» pelo ar (à direita). O objecto em primeiro plano

(em cima) começa por ser filmado contra um pano de fundo azul [1] (utiliza-se o azul porque esta cor não está presente nos tons de pele). Este filme passa por vários passos na impressora óptica, produzindo máscaras que se podem em seguida combinar com um fundo filmado em separado [2].



O filme positivo da acção em primeiro plano [3] é fotografado na impressora óptica, dando origem a duas tiras de filme a preto e branco: a máscara «macho» [4], que não tem nada à excepção de uma silhueta preta do actor, e a máscara «fêmea» [5], que é negro com uma silhueta nítida do actor. A junção da máscara fêmea com a imagem do actor dá uma impressão do actor sobre um fundo vazio [6]. A máscara macho junta-se ao filme do fundo, originando uma paisagem com um «buraco do tamanho do actor» [7]. Estes dois filmes são então sobrepostos [8], dando origem a uma imagem composta.

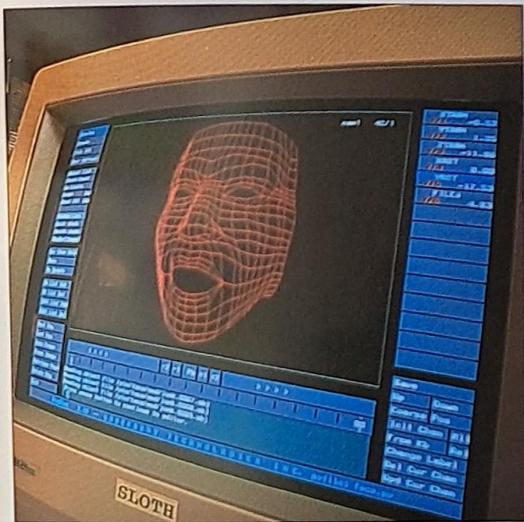
Manipulação digital

O efeito de computador chamado morphing é utilizado para misturar acção real com animação computadorizada. No filme *Lawnmower Man*, este efeito foi utilizado para transformar o rosto de um actor num modelo computadorizado, que foi esticado e distorcido antes de se voltar a transformar no actor verdadeiro.

Para se conseguir este efeito, o rosto do actor é coberto por uma grelha de linhas que o contornam e fotografado (fundo da página). Esta imagem é transmitida a um computador criando um «manequim de linhas» — uma grelha que pode ser rapidamente manipulada sob a forma digital (em baixo). A grelha é então coberta por uma «pele» gerada por computador.

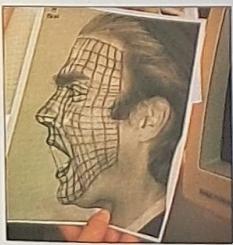
duais, que são fundamentais para determinar o ritmo do filme. Uma dissolução sugere uma breve passagem de tempo, um desvanecimento gradual num período mais longo: embora se trate de meras convenções cinematográficas, acabaram por ser aceites pelos espectadores de cinema de todo o mundo. Um desvanecimento gradual implica fotografar o filme principal num duplicado, enquanto se abre ou fecha lentamente o obturador da impressora óptica. Numa dissolução, a nova cena é opticamente incluída de modo esbatido, enquanto se esbate lentamente a antiga sobre a mesma secção de película.

A impressora óptica também pode ser utilizada para sobrepor uma imagem a outra, obtendo-se um efeito de fantasma. Foi assim que o realizador Alfred Hitchcock colocou momentaneamente uma caveira sobre a cabeça de Norman Bates na última cena de *Psycho*. Outro efeito, mais visível, que se baseia na impressora óptica é a máscara móvel, que combina duas ou mais cenas diferentes, possivelmente filmadas em diferentes partes do mundo ou a escalas diferentes (ver ilustração principal).



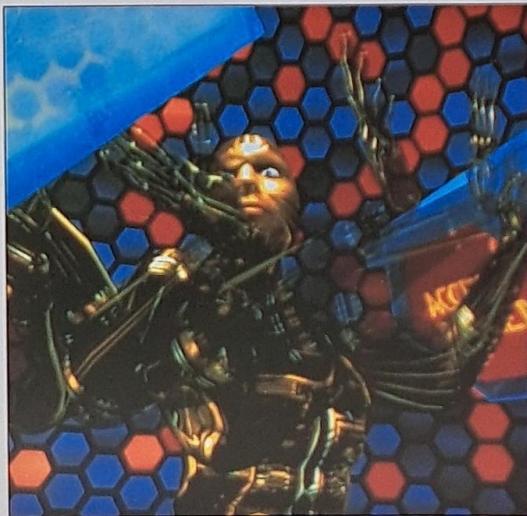
O operador pode deslocar as linhas da grelha para alterar a forma do rosto. Quando as linhas da grelha se deslocam, a pele desloca-se com elas e o rosto fica distorcido (em baixo). Adicionam-se à imagem reflexos e sombras para lhe dar contexto e uma maior credibilidade.

Nesta altura, cada fotograma gerado por computador é uma imagem estática: tem de se lhe adicionar «desfocagem» por computador para fazer com que a imagem projectada pareça mover-se naturalmente. Quando a imagem digital aparece em simultâneo com a acção ao vivo, as componentes geradas por computador têm de ser «sujas» para coincidirem com o grão do filme sobre o qual a acção ao vivo é filmada.



Pequenos mundos (extrema direita)

Os modelos são mais baratos e mais fáceis de construir do que os cenários de tamanho natural. No filme de 1993 *Attack of the 50 Foot Woman* utilizaram-se miniaturas e uma perspectiva forçada, em que a visão unioocular da câmara combina objectos de escalas diferentes.



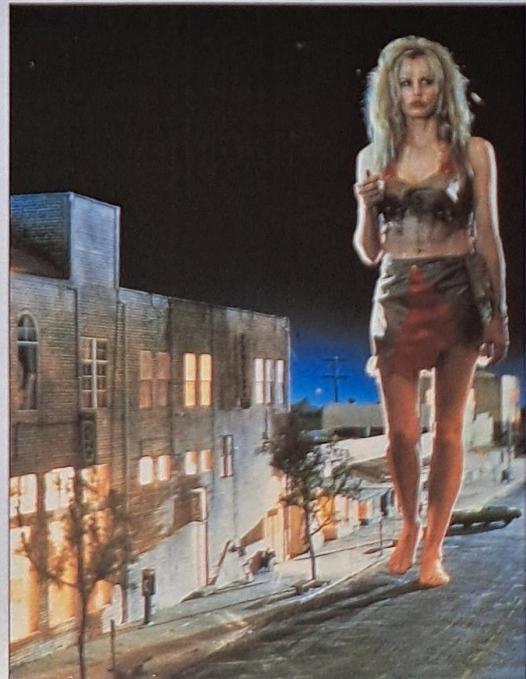
Truques tradicionais

Outros efeitos cinematográficos conhecidos baseiam-se na habilidade dos caracterizadores e dos criadores de cenários e de modelos. Os modelos são animados por meio da fotografia *pára-arranca*, em que um objecto é exposto sobre um único fotograma e em seguida deslocado ligeiramente, antes de ser fotografado no fotograma seguinte. A passagem do filme à velocidade máxima dá uma impressão credível de movimento. Um desenvolvimento moderno desta técnica é o *go-motion*, em que o esqueleto do modelo se move por meio de motores e fios controlados por computador. Os modelos à escala aparecem muitas vezes na mesma cena que um actor. Neste caso, a credibilidade da imagem depende da falsa perspectiva dada pela câmara. No filme *Super-Homem*, uma cena em que Christopher Reeve empurra um enorme pedregulho por um monte acima foi criada utilizando uma rocha modelo de 3 m, içada por um sistema hidráulico, e fazendo o Super-Homem mimar a acção de empurrar suficientemente atrás do modelo que estava a subir para o fazer parecer gigantesco.

Realidades computadorizadas

A manipulação da imagem digital baseia-se na capacidade de cálculo originalmente desenvolvida para os simuladores de voo e para o desenho de engenharia. As suas técnicas proporcionam aos realizadores de cinema uma flexibilidade infinita. Personagens e cenas podem ser inteiramente geradas por animação computadorizada, fazendo-se em seguida com que coexistam no ecrã com actores verdadeiros. Um dos efeitos mais espectaculares, utilizado em filmes como *Exterminador 2*, *A Máscara* e *Lawnmower Man*, é o *morphing*, que permite, por exemplo, que um actor verdadeiro seja imperceptivelmente transformado num desenho animado gerado por computador, que pode então desempenhar tarefas impossíveis, antes de se transformar de novo na imagem filmada convencional.

Mas muitas das utilizações da imagem computadorizada são mais triviais. As máscaras ópticas estão a ser substituídas por sistemas computadorizados e utiliza-se a manipulação por computador para «retirar» os cabos de segurança necessários aos duplos e para limpar filmes danificados ou riscados.



Visão prateada

De que modo a película fotográfica capta uma imagem

Barata, prática e imediata, a fotografia permite a qualquer um criar «história instantânea» com o pressionar de um botão. No centro deste processo está a película fotográfica, uma sanduíche sensível à luz com menos de um décimo de milímetro de espessura. As películas actuais conseguem «memorizar» uma imagem numa fracção de segundo e reproduzi-la com uma definição milhões de vezes superior à de um ecrã de televisão. Todavia, estas películas baseiam-se no mesmo processo químico fundamental que foi utilizado pelo inventor francês Nicéphore Niepce para tirar, em 1826, a primeira fotografia verdadeira de sempre.

As películas são produzidas comercialmente numa extraordinária variedade de tamanhos e tipos. Grandes placas de película a preto e branco registam os raios X em medicina, os cineastas utilizam gigantescas bobinas de película negativa a cores e os fotógrafos amadores preferem os pequenos rolos de película. Mas, independentemente do seu formato e dos usos que delas se fazem, quase todas as películas funcionam basicamente da mesma maneira.

A película fotográfica é um material compósito constituído por várias camadas diferentes sobrepostas. O «recheio» desta «sanduíche» é uma *emulsão* — uma ou mais camadas de produtos químicos sensíveis à luz. As películas a preto e branco têm apenas uma camada sensível à luz, que regista a presença ou a ausência de luz, enquanto as películas a cores têm três camadas, cada uma delas sensível a uma cor, ou comprimento de onda, diferente da luz.

Vista ao microscópio, a emulsão de uma película a preto e branco tem o aspecto de uma massa de grãos irregulares incrustados numa matriz de gelatina. Cada



5 microns

base da película
revestimento não reflector

Velocidade da película (em cima)

As películas «rápidas», utilizadas na fotografia de acção, são mais sensíveis à luz do que as películas para fins normais. Contêm cristais de brometo de prata mais largos, que constituem um alvo maior para a luz. A sua desvantagem é que os cristais maiores produzem uma imagem granulada, com má resolução. As películas «mais lentas» dão uma melhor definição.

emulsão sensível ao vermelho

emulsão sensível ao verde

filtro amarelo

emulsão sensível ao azul

filtro UV

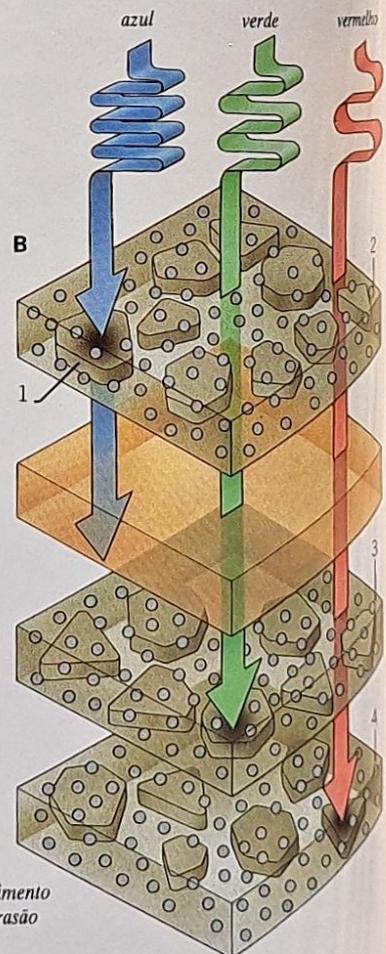
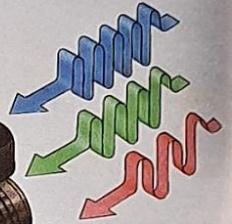
revestimento de abrasão

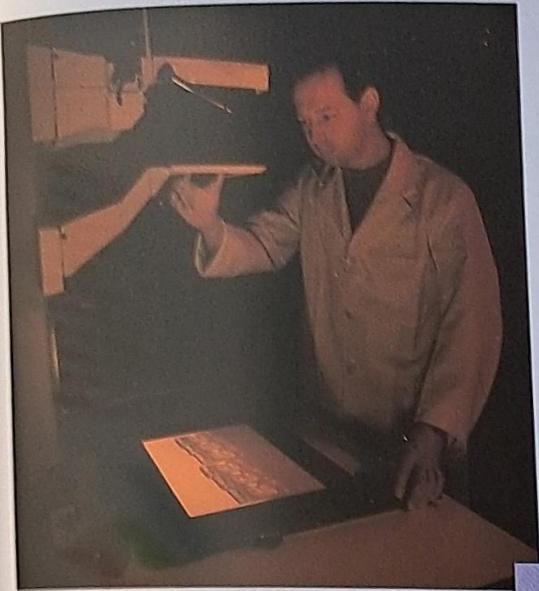
Estrutura da película

Uma película a cores normal (A) tem oito camadas. As de fora são revestimentos protectores que protegem a película da abrasão e dos raios ultravioleta (UV). Por baixo destes revestimentos encontram-se três camadas de emulsão, sensíveis, respectivamente, à luz azul, verde e vermelha. Um filtro amarelo

situado por baixo da camada sensível ao azul remove quaisquer vestígios de luz azul que pudessem afectar as camadas sensíveis ao verde e ao vermelho. Por baixo da emulsão está um revestimento que absorve a luz dispersa e a impede de voltar a reflectir-se sobre a emulsão. Uma base espessa dá resistência e flexibilidade à película.

A





Impressão a cores (à esquerda)

Para projectar a imagem em negativo sobre papel sensível à luz utiliza-se um ampliador, que compreende uma fonte de luz e um sistema de lentes. Os filtros da cabeça do ampliador são utilizados para ajustar a cor da luz emitida, permitindo a um técnico de câmara escura habilitado efectuar uma impressão em que as cores parecem naturais e «equilibradas».

grão é, na realidade, um cristal do composto de brometo de prata sensível à luz. Bilhões de cristais de brometo de prata distribuídos por toda a emulsão, cada um deles com cerca de um milésimo de milímetro de diâmetro, conseguem registar com precisão os padrões de luz e de sombra que incidem sobre a película.

Imagens cristalinas

Um cristal de brometo de prata é constituído por iões de brometo (com carga negativa porque transportam um excedente de electrões) intercalados com iões de prata (com carga positiva devido ao défice de electrões). Quando a luz atinge o cristal, os electrões são afastados do brometo e agarrados pelos iões de prata, formando átomos de prata metálica que são visíveis sob a forma de pontos microscópicos em cada cristal. O número de átomos de prata produzidos depende da intensidade e da duração da iluminação.

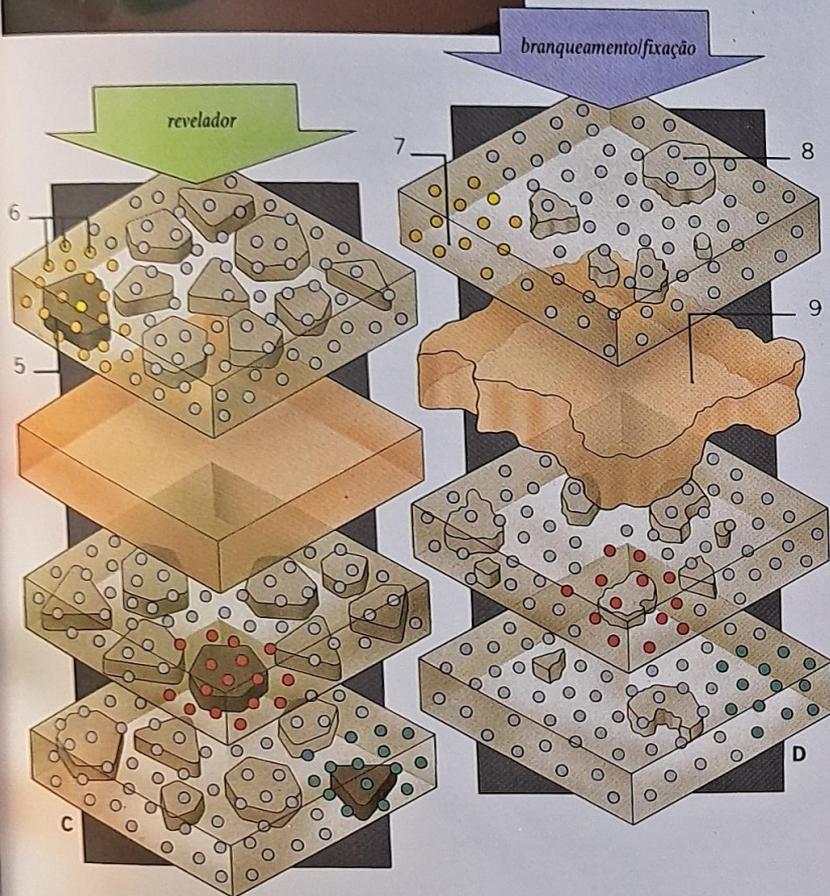
Revelar e fixar

Embora a película tenha já fixado uma imagem, esta está escondida, ou *latente*. Para a tornar visível a olho nu, multiplica-se muitas vezes o número de átomos de prata através da imersão da película no líquido revelador. Os produtos químicos que o constituem «reconhecem» os cristais que contêm vestígios de prata metálica e «bombeiam» electrões para dentro deles, o que faz com que todos os iões de prata do cristal se convertam em átomos de prata visíveis. Os cristais que não contêm átomos de prata não são afectados pelo revelador. Após a revelação, os restantes cristais de brometo de prata desaparecem por meio de um tratamento com um fixador químico. Este torna a película revelada insensível à luz, estabilizando, assim, a imagem.

A película tem agora uma imagem em negativo — em que as zonas escuras correspondem às partes claras da cena fotografada. Para se obter uma imagem em positivo, projecta-se o negativo sobre uma folha de papel revestida de uma emulsão fotográfica. O papel é processado do mesmo modo que a película para completar a imagem fotográfica.

Química colorida

A película a cores tem uma emulsão em três camadas. Cada uma delas contém cristais de brometo de prata sensíveis, do ponto de vista químico, a um comprimento de onda da luz diferente: a primeira regista o azul, a segunda o verde e a terceira o vermelho. Após a exposição, a película é revelada como já foi descrito, mas passa por uma fase adicional em que os grãos de prata são substituídos por tintas de cor. Em cada camada de emulsão, a cor produzida é complementar da cor da luz que entra. Assim, a camada sensível ao azul produz tinta amarela, a camada sensível ao verde produz tinta magenta e a camada sensível ao vermelho produz tinta ciano. Deste modo, a película regista todas as cores em «negativo». Tal como acontece na película a preto e branco, o negativo é impresso numa folha de papel, tornada sensível com as três emulsões de cor e tratada quimicamente para formar uma imagem em positivo.



Processamento químico
Quando a película é exposta [B], cada camada de emulsão regista um comprimento de onda de luz diferente. Os cristais de brometo de prata [1] da camada sensível ao azul [2] reagem apenas à luz azul, formando uma imagem latente — minúsculos pontos de prata metálica sobre os cristais iluminados. A luz verde e a vermelha formam imagens latentes sobre as camadas sensíveis

ao verde [3] e ao vermelho [4]. A imagem latente torna-se visível por imersão da película num líquido revelador [C], o que é feito na escuridão total. O revelador multiplica o conteúdo em prata dos cristais expostos à luz, convertendo-os em prata metálica escura [5]. Quando o revelador actua sobre um cristal, faz com que as moléculas de corante que se encontram imediatamente à sua volta [6] adquiram uma

cor — amarela na camada de cima e magenta e ciano nas camadas de emulsão situadas por baixo. A película é então imersa noutra banho — o branqueador/fixador [D]. Este dissolve todos os cristais de prata [7] e de brometo de prata [8] existentes na película, deixando apenas as zonas de tinta colorida, que constituem a imagem em negativo a cores, e dissolve também o filtro amarelo [9] da película.

Mais uma dimensão

Como se utiliza a luz de um laser para criar hologramas

Os hologramas não são truques nem efeitos psicológicos, mas sim imagens tridimensionais de objectos tal como eles são na realidade. Embora sejam mais conhecidos como dispositivos de segurança nos cartões de crédito, os hologramas têm muitas outras aplicações industriais e médicas. Os dentistas já começaram a utilizá-los como registos exactos dos dentes dos seus doentes: podem tirar-se medidas directamente a partir dos hologramas, acabando com a necessidade de volumosos moldes de gesso. E os hologramas gerados por computador podem transformar os planos dos arquitectos em modelos tridimensionais realistas.

Para o olho humano, um objecto parece ter uma determinada forma devido ao modo particular como a sua superfície dispersa a luz. Uma fotografia convencional é um registo directo da luz dispersa pelo objecto. Tal como uma fotografia, um holograma é registado numa película. Mas no caso do holograma faz-se com que esta registe o modo como o objecto dispersa a luz, o que se consegue utilizando as propriedades da luz de um *laser*.

O *laser* produz luz *coerente*. Isto significa que as ondas luminosas emitidas pelo *laser* têm o mesmo comprimento de onda e estão em fase umas com as outras — as cristas e os vales de cada onda coincidem exactamente.

Imagens por interferência

O modo mais comum de se criar um holograma é separar a luz proveniente de um único *laser* em dois feixes. Um deles, conhecido por *feixe de referência*, incide directamente sobre uma película fotográfica. O outro — o *feixe de objecto* — é dirigido para um objecto e reflecte-se na sua superfície antes de atingir a película. Como um dos feixes foi disperso pelo objecto, as ondas luminosas dos dois feixes já não estão em fase quando atingem a película. Isto faz com que as ondas provenientes de cada um dos feixes interfiram, o que resulta num complexo padrão de faixas, ou *franjas*, claras e escuras, que é registado na película.

Este tipo de holograma, em que os feixes de referência e de objecto incidem sobre o mesmo lado da película fotográfica, chama-se holograma de *transmissão* e pode ver-se fazendo incidir a luz de um *laser* (do mesmo comprimento de onda que o registado no holograma) através da película. A luz do *laser* é *difractada* pelos bordos da película, o que recria efectivamente as propriedades de dispersão da luz do objecto e projecta uma imagem deste a três dimensões. Os hologramas criados dirigindo os feixes de referência e de objecto para lados opostos da película podem ser vistos à luz natural. Chamam-se

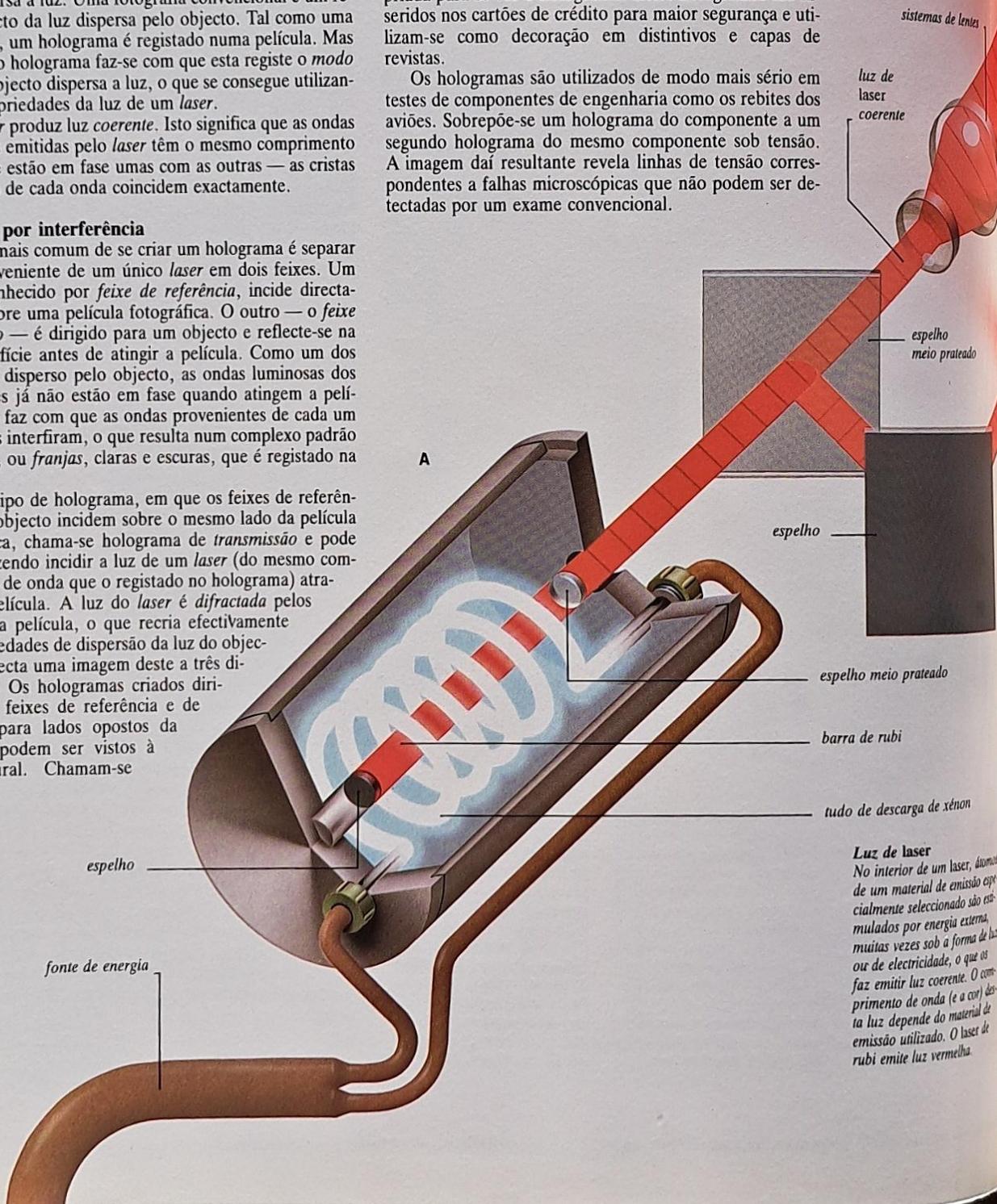
hologramas de *reflexão* (ou de reflexão da luz branca) e funcionam filtrando toda a luz, à excepção da que é apropriada para se ver o holograma. Estes hologramas são inseridos nos cartões de crédito para maior segurança e utilizam-se como decoração em distintivos e capas de revistas.

Os hologramas são utilizados de modo mais sério em testes de componentes de engenharia como os rebites dos aviões. Sobrepõe-se um holograma do componente a um segundo holograma do mesmo componente sob tensão. A imagem daí resultante revela linhas de tensão correspondentes a falhas microscópicas que não podem ser detectadas por um exame convencional.

Criar um holograma

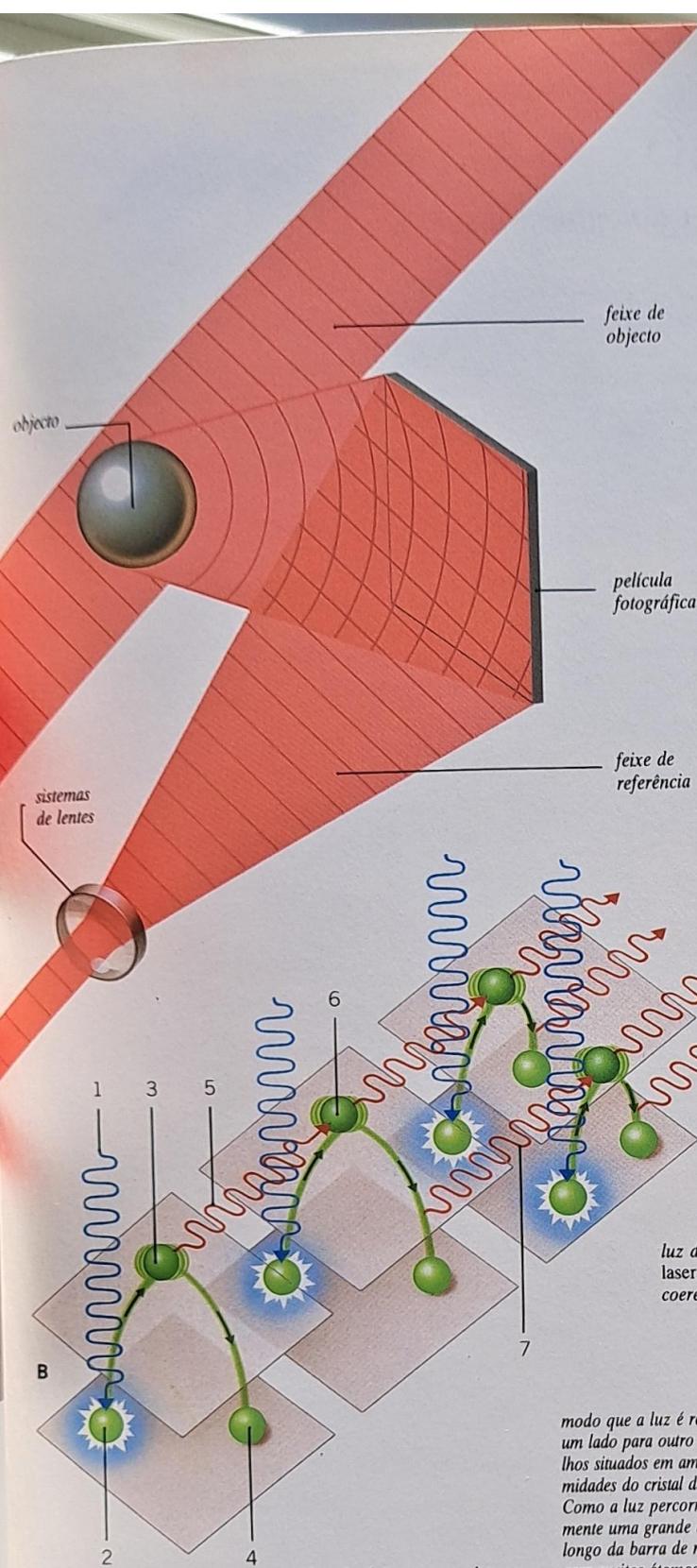
A luz do *laser* (neste caso a luz vermelha proveniente de um *laser* de rubi) começa por ser dividida em dois feixes (A), o que se consegue fazendo-a passar através de um espelho meio prateado que permite a passagem de metade da luz e reflecte a restante. Os sistemas de lentes dirigem um dos feixes (o feixe

de referência) directamente para uma película fotográfica; o segundo, o feixe de objecto, é dirigido para o objecto para ser registado. A luz do *laser* reflectida pela superfície do objecto interfere com a luz do feixe de referência, formando uma série de bordos, que são registados na película como conjuntos de linhas microscópicas emaranhadas.



Luz de laser

No interior de um *laser*, átomos de um material de emissão especialmente seleccionado são estimulados por energia externa, muitas vezes sob a forma de luz ou de electricidade, o que os faz emitir luz coerente. O comprimento de onda (e a cor) desta luz depende do material de emissão utilizado. O *laser* de rubi emite luz vermelha.



Emissão estimulada

Num laser de rubi [B], um clarão de luz [1] proveniente de um tubo de descarga de xénon excita os átomos de um cristal de rubi [2]. Estes átomos começam por ser elevados a um alto nível energético [3] e em seguida voltam de novo, espontaneamente, ao nível energético mais baixo [4], libertando o seu excedente de energia sob a forma de um fóton de luz [5]. Este fóton é

«sintonizado» para uma determinada frequência, por isso, quando embate noutra átomo excitado, estimula-o [6], fazendo-o emitir o seu próprio fóton [7]. O que é notável é que esse segundo fóton se desloca na mesma direcção que o primeiro e que os dois fótons estão exactamente em fase. Os fótons prosseguem a sua passagem pelo cristal de rubi, colidindo com outros átomos excitados e levando-os a emitirem fótons. O laser é construído de tal

modo que a luz é reflectida de um lado para outro entre espelhos situados em ambas as extremidades do cristal de rubi [A]. Como a luz percorre efectivamente uma grande distância ao longo da barra de rubi, interage com muitos átomos, criando uma cascata crescente de fótons. Quando a intensidade atinge um nível suficiente, a luz de laser emerge através de um dos espelhos, que tem uma superfície meio prateada.

É o processo pelo qual a luz é gerada no interior de um laser que explica o nome deste instrumento: laser é a abreviatura de light amplification by the stimulated emission of radiation (amplificação da luz pela emissão estimulada de radiação).

Ficar quieto

Durante a exposição, o objecto, o laser, os espelhos e a película têm de ser mantidos absolutamente parados. Um movimento de menos de um milésimo de milímetro poderia alterar o modo como os feixes de objecto e de referência interferem sobre a película e o padrão registado, estragando, assim, a imagem.

Arte holográfica (em cima)

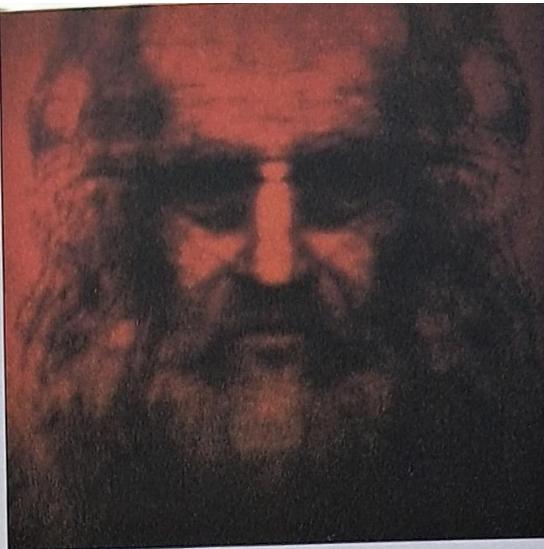
A técnica da holografia foi desenvolvida em 1948 pelo cientista britânico Dennis Gabor. O advento dos lasers baratos e práticos tornou este meio acessível aos artistas, permitindo-lhes criar extraordinárias imagens tridimensionais.

Luz fantástica

Os lasers têm grande valor porque produzem um tipo especial de luz, que difere da emitida por uma lâmpada normal em três aspectos. Em primeiro lugar, é extremamente direccionada e concentrada ou *colimada*: os raios laser têm bordos paralelos que divergem muito pouco enquanto o raio se desloca. Em segundo lugar, os lasers produzem luz «pura» de uma única cor ou comprimento de onda. Em terceiro lugar, a luz do laser é coerente: todas as ondas luminosas que a constituem estão sincronizadas, como filas de soldados em marcha. Devido a estas propriedades, a luz do laser é intensa e pode transportar grandes quantidades de energia, ou de informação codificada, até grandes distâncias com um mínimo de dispersão ou de distorção.

A intensidade da luz do laser é definida pela potência de saída deste. Por exemplo, um laser de 40 W produz a mesma quantidade de energia que a consumida por uma lâmpada de 40 W. Mas, enquanto a energia da lâmpada se espalha em todas as direcções, o laser foca toda a sua energia num minúsculo feixe de luz, o que resulta numa grande densidade energética. Os lasers industriais utilizados no corte de precisão do aço podem produzir densidades energéticas de mais de 1 milhão de watts por centímetro quadrado. Também se utilizam lasers potentes na investigação nuclear para gerar as temperaturas elevadas necessárias ao início da fusão nuclear. Os lasers de baixa potência são utilizados para «ler» e transmitir informação com grande precisão e encontram-se nos leitores de CD, nas impressoras laser e nas redes de fibras ópticas.

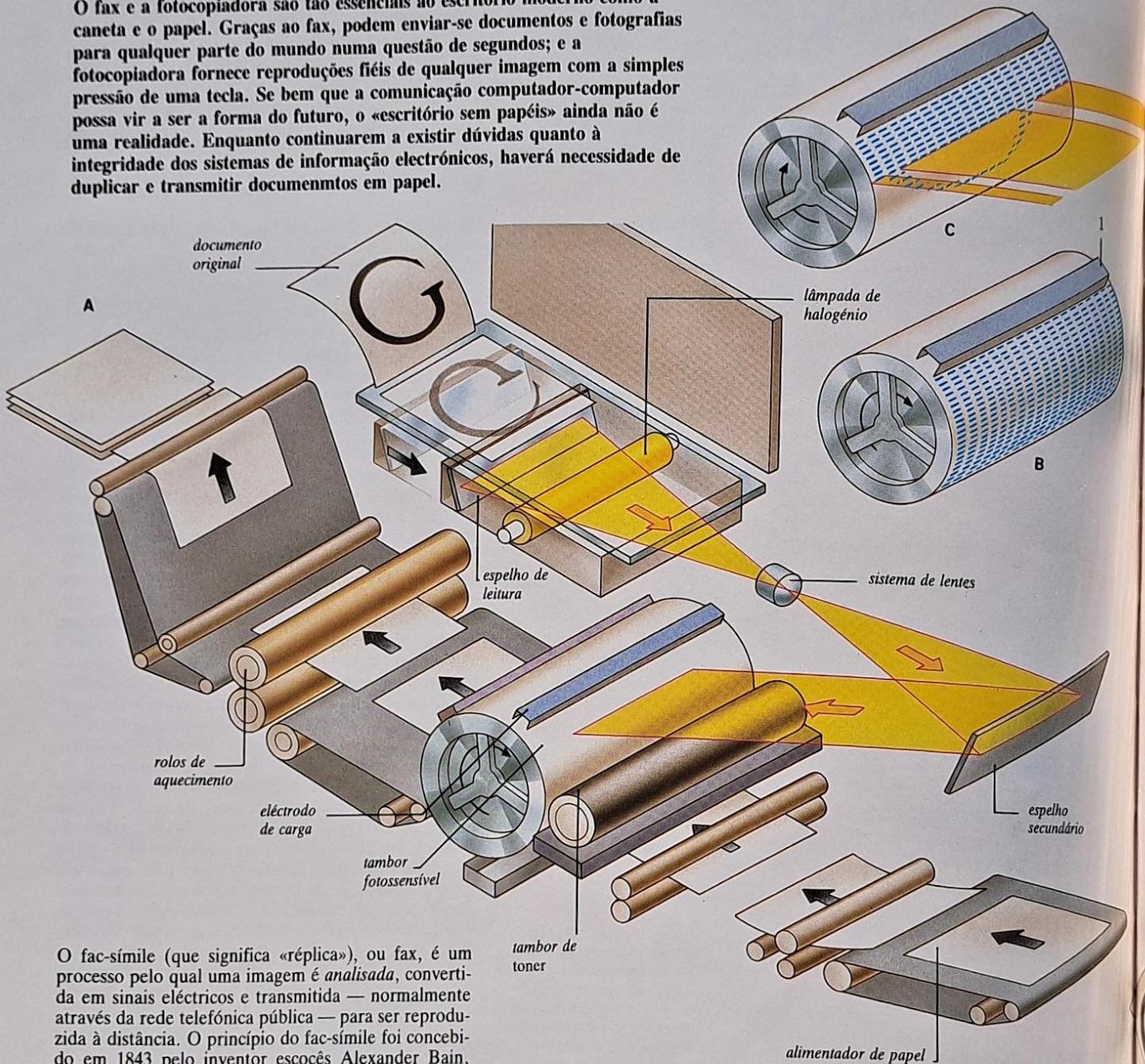
Para se produzir luz de laser, elevam-se os átomos de uma material de emissão apropriado (que pode ser um sólido, como um cristal de rubi, um líquido ou um gás) a um alto nível energético, o que se consegue bombardeando o material de emissão com energia, sob a forma de luz ou de electricidade. Quando cada átomo volta a descer até ao seu nível de energia inicial liberta o excesso de energia emitindo um fóton, ou «pacote» de luz. Se este fóton colidir então com um segundo átomo excitado pode estimular esse átomo, fazendo-o emitir um segundo fóton. Este processo, repetido bilhões de vezes, origina um raio laser.



Papelada

De que modo as fotocopiadoras e os faxes reproduzem imagens

O fax e a fotocopiadora são tão essenciais ao escritório moderno como a caneta e o papel. Graças ao fax, podem enviar-se documentos e fotografias para qualquer parte do mundo numa questão de segundos; e a fotocopiadora fornece reproduções fiéis de qualquer imagem com a simples pressão de uma tecla. Se bem que a comunicação computador-computador possa vir a ser a forma do futuro, o «escritório sem papéis» ainda não é uma realidade. Enquanto continuarem a existir dúvidas quanto à integridade dos sistemas de informação electrónicos, haverá necessidade de duplicar e transmitir documentos em papel.



O fac-símile (que significa «réplica»), ou fax, é um processo pelo qual uma imagem é analisada, convertida em sinais eléctricos e transmitida — normalmente através da rede telefónica pública — para ser reproduzida à distância. O princípio do fac-símile foi concebido em 1843 pelo inventor escocês Alexander Bain, por isso o fax é, na realidade, anterior ao telefone, embora só tenha aparecido na sua encarnação moderna na década de 1960. O acontecimento mais importante no seu desenvolvimento como instrumento de trabalho foi a normalização, sendo todas as máquinas construídas de acordo com especificações internacionalmente aceites. Isto permitiu que todos os faxes «falassem» uns com os outros, abrindo assim uma rede global de fac-símile.

Um documento a enviar por fax começa por ser convertido, linha a linha, numa série de impulsos eléctricos. Um motor eléctrico faz avançar o documento através da máquina em incrementos de 0,13 mm.

A máquina de copiar

Numa fotocopiadora a preto e branco (A), o documento é iluminado por uma lâmpada de halogénio e lido em bandas por um espelho móvel. As partes em branco do documento reflectem a luz, enquanto as partes impressas a reflectem pouco. Um segundo espelho dirige a luz reflectida, por

meio de um sistema de lentes, para um tambor rotativo revestido de um polímero fotossensível. Este converte o padrão de luz e sombra do tambor num padrão de carga eléctrica, que é utilizado para atrair partículas de toner negro. O papel, que passa pela máquina através de correias transportadoras, recolhe o

toner e a imagem é transferida para a folha. As fotocopiadoras a cores funcionam basicamente da mesma maneira, salvo que o documento original é lido três vezes e dissociado nas suas componentes amarela, magenta e ciano. As três imagens são sobrepostas, originando a actual reprodução a cores.

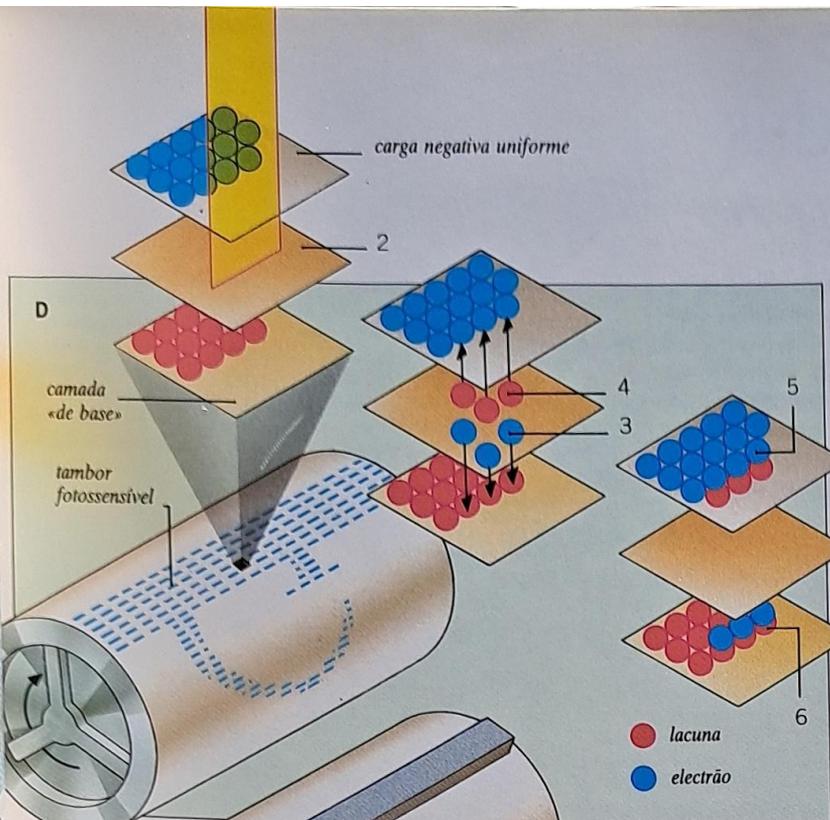
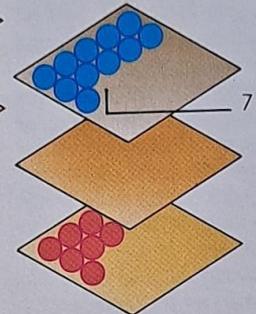


Imagem eléctrica
 O centro de uma fotocopiadora é um tambor de alumínio com uma superfície fotocondutora — que conduz a electricidade apenas quando exposta à luz.

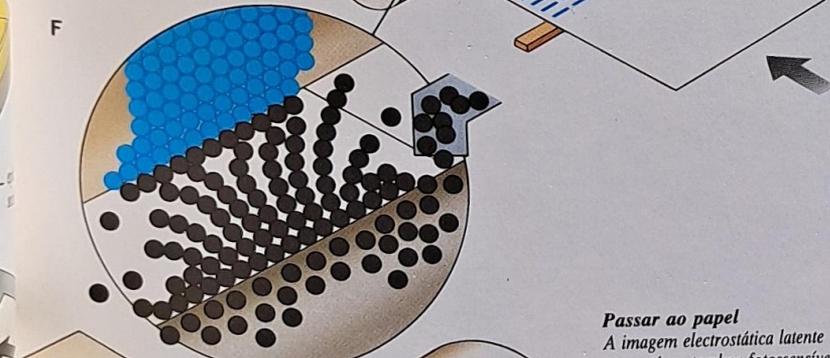
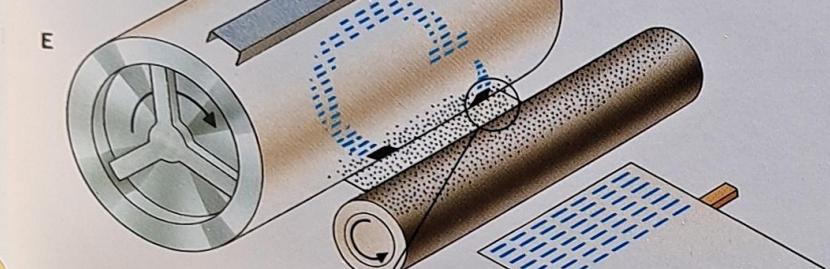
Antes da leitura [B], um eléctrodo [1] aplica uma carga negativa uniforme à superfície

do tambor. A imagem é então projectada sobre ele. Em todos os sítios onde a luz incide, a carga «escorre» para fora, criando uma imagem latente [C], feita de zonas residuais de carga negativa.

Ao nível molecular [D], a energia luminosa [2] excita as moléculas do polímero fotocondutor, decompondo-as em electrões [3] e correspondentes zonas de carga positiva, ou lacunas [4]. As lacunas migram para cima, para a camada superficial de carga negativa [5], enquanto os electrões migram para a camada inferior, de carga positiva [6]. Lacunas e electrões cancelam-se mutuamente, originando manchas sem carga [7], que correspondem às partes brancas da imagem.

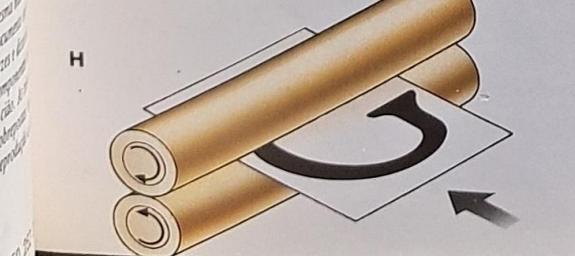
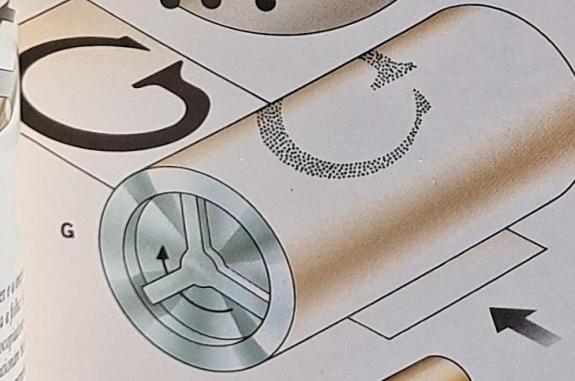


● lacuna
 ● electrão



Passar ao papel
 A imagem electrostática latente que está no tambor fotossensível é transformada numa imagem visível no papel [E]. Um tambor rotativo capta o toner com carga positiva, que contém grãos de carbono. O toner é atraído para as zonas da superfície do tambor fotossensível que têm carga negativa [F]: quanto maior for a concentração de carga, mais escura ficará a sombra resultante.

Um longo eléctrodo fornece uma ligeira carga negativa a uma folha de papel e esta é comprimida contra o tambor fotossensível. O toner (e a imagem) é transferido para o papel [G]. Por fim [H], o papel passa por rolos quentes que ligam o toner à folha, fixando a imagem.



A cada incremento, o papel pára e uma faixa estreita é iluminada por uma fila de díodos emissores de luz (LED). A luz reflectida pelo documento é focada sobre 1728 minúsculos sensores ópticos dispostos a toda a largura da folha. Os sensores são feitos de material semiconductor e reagem à luz, produzindo um impulso eléctrico de baixa voltagem quando «vêem» uma luz forte e um impulso de voltagem mais elevada quando «vêem» luz fraca. Cada sensor olha para um ponto muito pequeno, ou *pel*, do documento, determina se é preto ou branco e gera, em seguida, uma corrente eléctrica forte ou fraca. Toda a fila de sensores «registra» o padrão de preto e branco numa linha do documento de 0,13 mm de largura.

Um relógio electrónico, que faz «tiquetaque» cerca de um milhão de vezes por segundo, lê a corrente proveniente de cada sensor em sequência. Então o papel desloca-se 0,13 mm e a linha seguinte é analisada e lida, e assim por diante. O fluxo de impulsos eléctricos produzido é em seguida convertido à forma digital e pode ser enviado através de uma linha telefónica. A velocidade de transmissão varia com o tipo de fax: a maioria das máquinas modernas transmite a 9600 bits — unidades de informação — por segundo e pode enviar um documento em A4 em menos de um minuto.

Mensagem recebida

O fax receptor descodifica a transmissão e dirige o sinal para uma impressora, que recria o documento precisamente pela mesma ordem em que foi lido. Muitas máquinas utilizam a impressão térmica, em que a cabeça de impressão tem uma linha de cerca de dois mil estiletos de aquecimento dispostos a toda a largura do papel. O papel térmico acetinado utilizado tem um revestimento químico que se torna negro quando sobre ele se aplica um estilete quente. A aplicação, ou não, de cada estilete sobre o papel corresponde à série de impulsos ligado-desligado que entra. Embora este sistema seja barato, prático e fiável, a imagem deteriora-se se o papel for exposto à luz ou ao calor. Os modelos mais caros têm impressoras laser.

Imagens ponteadas

Como se preparam as fotografias para a imprensa

Durante séculos após o seu desenvolvimento, na China do século II, a imprensa continuou a ser um processo extremamente trabalhoso. Cada página impressa era produzida gravando os caracteres e as imagens, à mão, em madeira ou metal e pressionando a gravação coberta de tinta contra uma folha de papel. Isto contrasta drasticamente com os métodos actuais de preparação do material para impressão. Uma imagem a cores pode ser «captada» electronicamente numa questão de segundos, separada nas suas cores componentes e convertida num padrão de minúsculos pontos sobre uma placa de impressão.

O processo de conversão de uma fotografia ou ilustração numa forma que possa ser impressa numa página chama-se *selecção*. No caso de uma fotografia a preto e branco, o objectivo é transformar as subtilidades de tom da imagem original num padrão de pontos sobre uma placa de impressão. Isto é necessário porque os tons do original são contínuos — a imagem é constituída por um número infinito de tons de cinzento. Uma máquina de impressão só pode, no entanto, aplicar um tom de tinta (negra). A conversão da imagem em pontos de igual densidade mas de tamanhos diferentes engana a vista, fazendo-a ver tons contínuos, desde que os pontos sejam suficientemente pequenos.

Esta conversão é muitas vezes efectuada utilizando uma *câmara de processamento fotográfico*, que produz uma imagem fotográfica do original sobre uma folha de película. Pressionada contra a película está uma tela de *contacto* ou de *meio-tom* — placa transparente com uma rede de pontos de igual tamanho e separados por intervalos iguais. Quando é fotografado sob uma luz branca, o original decompõe-se numa série de pontos que são registados na película. Em seguida, um processo fotoquímico converte o padrão (negativo) de pontos da película num padrão positivo sobre uma placa metálica flexível. A tinta aplicada sobre a placa só «pega» nos pontos, que são em seguida impressos numa folha de papel. Nas zonas de sombra, os pontos são grandes e densamente agrupados; nas zonas luminosas, os pontos são mais pequenos e menos frequentes, o que, quando a imagem é impressa, dá a impressão de um tom continuamente variável.

A resolução da imagem impressa é determinada pelo número de pontos na tela de contacto, convencionalmente medido em termos do número de linhas de pontos por polegada. Uma imagem de jornal a preto e branco tem cerca de 100 linhas de pontos por polegada, enquanto uma fotografia numa revista em papel *couché* tem pelo menos 200.

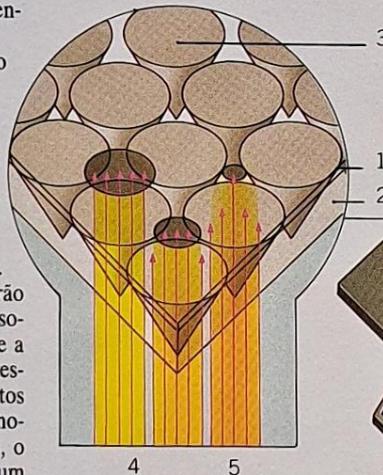
Cores vivas

A selecção da cor é um processo mais complexo mas basicamente idêntico. Todas as cores reflectidas pela superfície de um quadro ou fotografia podem ser descritas em termos de proporções de vermelho, verde e azul — as cores primárias — que contém. Na selecção da cor, uma câmara de processamento fotográfico equipada sucessivamente com filtros azuis, verdes e vermelhos regista as componentes azul, verde e vermelha da imagem em três folhas de película diferentes. Em cada um dos casos, a imagem é filtrada e o resultado final é uma película em que o padrão de pontos é um registo da intensidade de uma das três cores primárias.

Cada película é em seguida utilizada para fazer uma placa, sobre a qual se aplica tinta de cor. As três placas

Na câmara

Utiliza-se a câmara de processamento fotográfico (A) para produzir uma película de meio-tom a partir de um original a preto e branco. O original é colocado sobre a mesa de montagem e iluminado com luz branca. Faz-se subir ou descer a lente para ampliar ou reduzir a imagem registada na película que se encontra no transportador de película.



controles de exposição

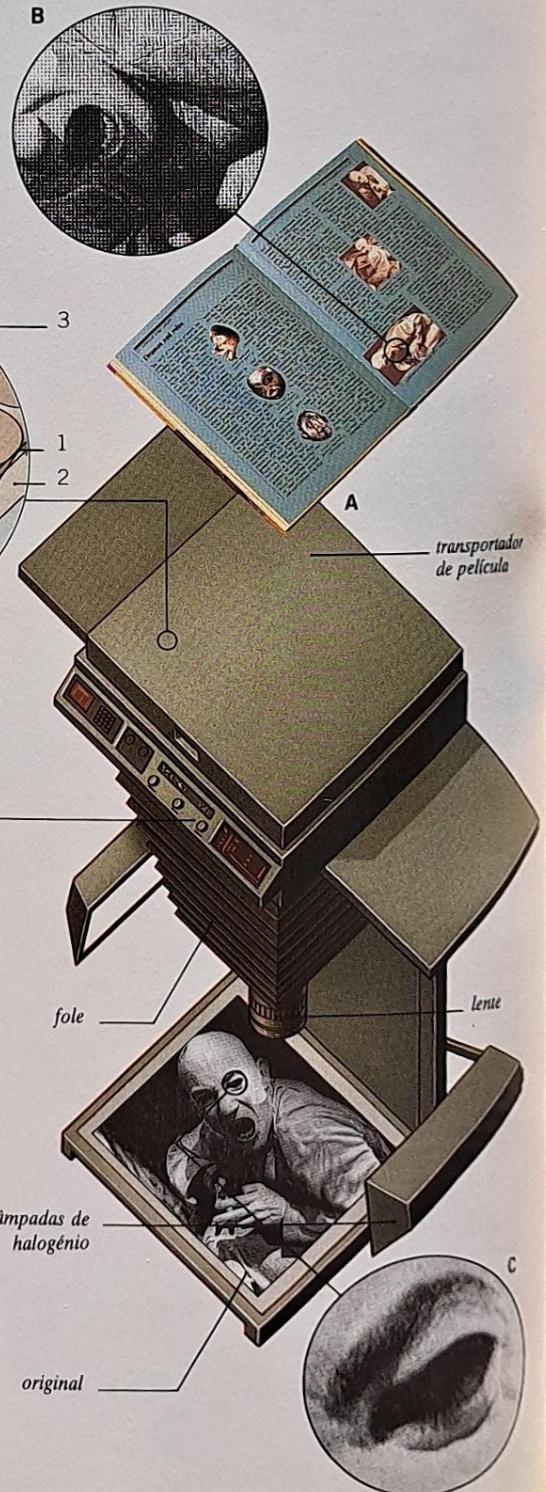
Imagem filtrada

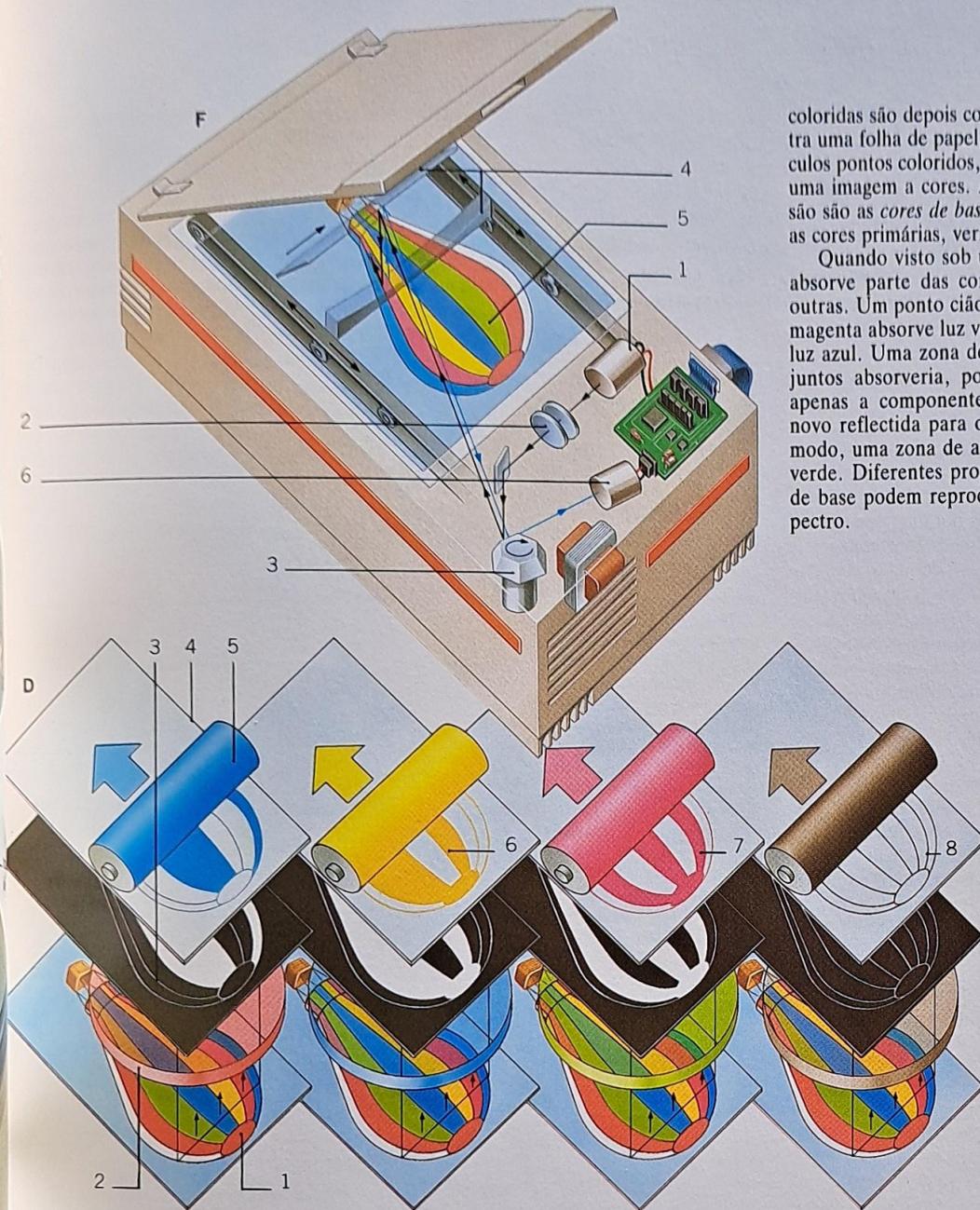
Logo por baixo da película (1) que está na câmara de processamento fotográfico, encontra-se a tela de meio-tom (2), que é uma rede de pontos produzida fotograficamente. Cada ponto é efectivamente um cone de prata densa (3). A luz intensa, reflectida a partir de um ponto iluminado sobre o original (4), pode passar através dos «ombros» dos cones, formando um grande círculo na película que está por cima. A luz fraca proveniente de uma zona de sombra do original (5) só consegue penetrar onde os ombros dos cones são reduzidos, formando, por isso, um pequeno ponto sobre a película. A imagem filtrada impressa (B) contrasta com o tom contínuo do original (C).

Tecnologia scanner

Um scanner moderno a cores (F) contém um laser (1) que produz um intenso raio de luz. Ele é focado (2) e dirigido para um espelho rotativo multifacetado (3). À medida que o espelho gira, o raio laser é desviado rapidamente da esquerda para a direita. Os espelhos (4) dirigem o

raio para o original (5). A luz reflectida segue um percurso quase idêntico de regresso ao espelho giratório, que o reflecte para o fotossensor (6). Aqui a intensidade e a cor do raio são traduzidas para sinais electrónicos, que em seguida são transmitidos para um computador para serem processados.





coloridas são depois comprimidas, uma de cada vez, contra uma folha de papel, produzindo um padrão de minúsculos pontos coloridos, que os olhos vêem sob a forma de uma imagem a cores. As tintas utilizadas para a impressão são as *cores de base*, amarelo, magenta e ciano, e não as cores primárias, vermelho, verde e azul.

Quando visto sob uma luz branca, um ponto de cor absorve parte das cores presentes na luz, reflectindo outras. Um ponto ciano absorve luz vermelha, um ponto magenta absorve luz verde e um ponto amarelo absorve luz azul. Uma zona de pontos ciano e magenta bastante juntos absorveria, portanto, luz vermelha e verde e apenas a componente azul da luz incidente seria de novo reflectida para os olhos do observador. De igual modo, uma zona de amarelo e ciano reflecte apenas luz verde. Diferentes proporções de pontos das três cores de base podem reproduzir quase todas as cores do espectro.

Cores adequadas

Os scanners produzem separações de cores filtradas de modo mais rápido e prático do que a câmara de processamento fotográfico. No scanner (F), um fino raio de luz ou laser «pinta» uma série de linhas a toda a largura do original. A intensidade, e a cor, da luz reflectida é detectada, convertida num sinal digital e armazenada num disco de computador. A imagem digitalizada pode ser manipulada no ecrã para ampliar uma parte, alterar as suas cores ou até combinar duas ou mais imagens. Em seguida, outro laser transforma os dados em quatro películas de pontos gerados por computador, correspondendo cada uma delas a uma das quatro cores de base.

O processo de quadricromia

Ainda se utilizam câmaras de processamento fotográfico para a selecção de cores (D), embora tenham sido já em grande medida suplantadas pelos scanners. O princípio da separação das cores é, no entanto, explicado de modo mais claro pela câmara de processamento fotográfico.

O original a cores (1), que neste caso contém zonas de vermelho, verde, azul, amarelo, magenta e ciano, para além de preto e branco, começa por ser fotografado através de um filtro vermelho (2). As zonas de cor

que contém vermelho (nomeadamente o branco, o magenta, o amarelo e o próprio vermelho) passam pela tela e são registadas na película fotográfica (3) como pontos prateados. Esta película em negativo é então utilizada para criar uma imagem positiva sobre uma placa de impressão (4). Na máquina de impressão, os rolos aplicam tinta ciano sobre a placa (5). (O ciano pode ser imaginado como uma «ausência» do vermelho.) A tinta «agarrar-se» apenas às partes da placa que correspondem a zonas do original que não contém a cor vermelha. O original é em seguida foto-

grafado através de um filtro verde, de um azul e de um cinzento e os negativos daí resultantes são utilizados para fazer mais três placas. Estas são cobertas com tinta amarela, magenta e preta, respectivamente (6, 7, 8). (Embora o preto não seja estritamente necessário para produzir cor, dá mais «força» à imagem final.)

As quatro placas são comprimidas em sequência contra uma folha de papel, formando uma imagem constituída por pontos das quatro cores de base. Isto torna-se mais visível nesta ampliação de uma página impressa (E).



Imagens numa página

Como funciona uma máquina de impressão a cores

A ubiquidade das revistas e dos livros, bem como do papel-moeda, das embalagens e dos selos, atesta a persistente importância da imprensa na nossa sociedade. Mas Johann Gutenberg, que introduziu o tipo móvel na Europa em 1439, teria dificuldade em reconhecer a moderna tecnologia de impressão. As máquinas de impressão actuais são capazes de imprimir imagens a cores com elevada resolução a um ritmo de mais de 25 000 cópias por hora. O controlo por computador transformou o processo de impressão: algumas máquinas são totalmente automatizadas e até capazes de se limparem a elas próprias entre tarefas.

O ponto de partida da maioria dos processos comerciais de impressão é uma película fotográfica, que contém uma imagem do tipo e das fotografias a imprimir. A imagem é transferida da película para um transportador — normalmente uma placa ou um cilindro de impressão —, sobre o qual as zonas da imagem se distinguem das zonas em branco (não imagem) pelas suas propriedades mecânicas ou químicas. Aplica-se tinta sobre o transportador, onde esta «se agarra» apenas às zonas com imagem: o transportador é em seguida comprimido contra papel, cartão ou outro material. Existem três processos de impressão básicos — *impressão tipográfica, litografia e gravura* —, que diferem sobretudo pelo modo como as zonas de imagem e não imagem são definidas no transportador. A litografia é a mais versátil destas técnicas, sendo responsável por mais de 40% de todo o material impresso.

Imagens em pedra

A técnica da litografia surgiu durante o século XIX. Inicialmente utilizava-se uma placa de calcário (*lithos* significa «pedra» em grego) como transportador da imagem, mas as máquinas de impressão actuais utilizam uma fina placa de zinco ou de alumínio.

Antes da impressão, a placa é especialmente preparada para se tornar receptiva a uma imagem. Começa por ser tratada com um produto químico que torna a sua superfície porosa e, em seguida, é revestida com uma camada de emulação fotográfica. A placa é posta em contacto com a película que tem a imagem, exposta à luz e revelada. A revelação faz desaparecer a emulação das zonas de não imagem, revelando a placa porosa que fica por baixo, e endurece a emulação nas zonas de imagem.

A placa é então presa à superfície curva de um cilindro de metal e fixa à máquina de impressão. Conjuntos de rolos revestem a placa primeiro com água e em seguida com uma tinta à base de gordura. A água é absorvida pelas zonas porosas de não imagem da placa e as zonas de imagem captam a tinta, enquanto a camada de água que cobre o resto da placa evita que a tinta se espalhe pelas zonas de não imagem.

A imagem é impressa (*offset*) num revestimento de borracha com que se envolve um segundo cilindro. Só então é que é transferida para uma folha de papel, que é comprimida entre o cilindro de cobertura e um terceiro cilindro de impressão. A utilização de um revestimento de borracha, com uma certa «elasticidade», permite que as imagens sejam impressas sobre cartão ou papel de pouca qualidade.

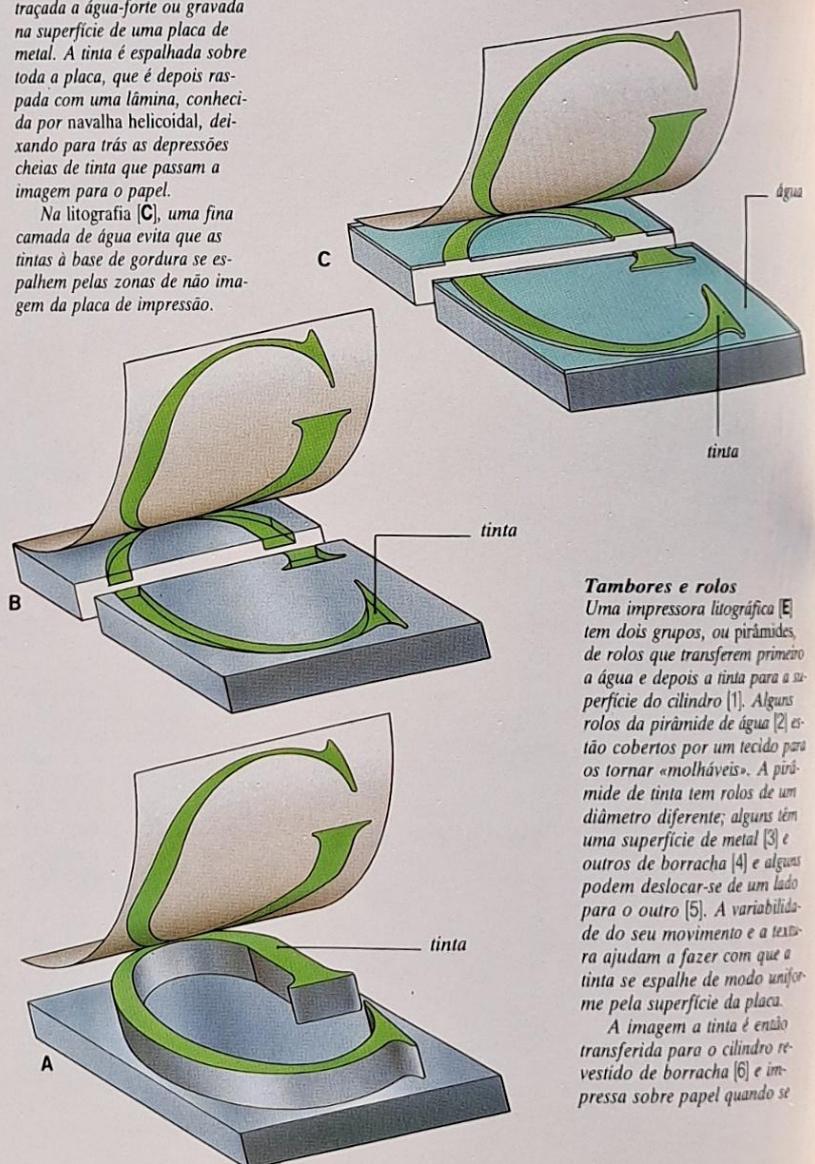
O papel pode chegar à máquina de impressão em folhas cortadas separadas, que são mais tarde aparadas até ficarem do tamanho pretendido e unidas por um processo à parte.

Processos de impressão

A técnica de impressão mais antiga, a impressão tipográfica [A], baseia-se em superfícies cobertas de tinta que sobressaem bem das zonas de não imagem. Sobre a superfície de impressão aplicam-se, por meio de rolos, tintas grossas e pastosas antes de a placa ser comprimida contra uma folha de papel.

Na gravura [B], a imagem é traçada a água-forte ou gravada na superfície de uma placa de metal. A tinta é espalhada sobre toda a placa, que é depois raspada com uma lâmina, conhecida por navalha helicoidal, deixando para trás as depressões cheias de tinta que passam a imagem para o papel.

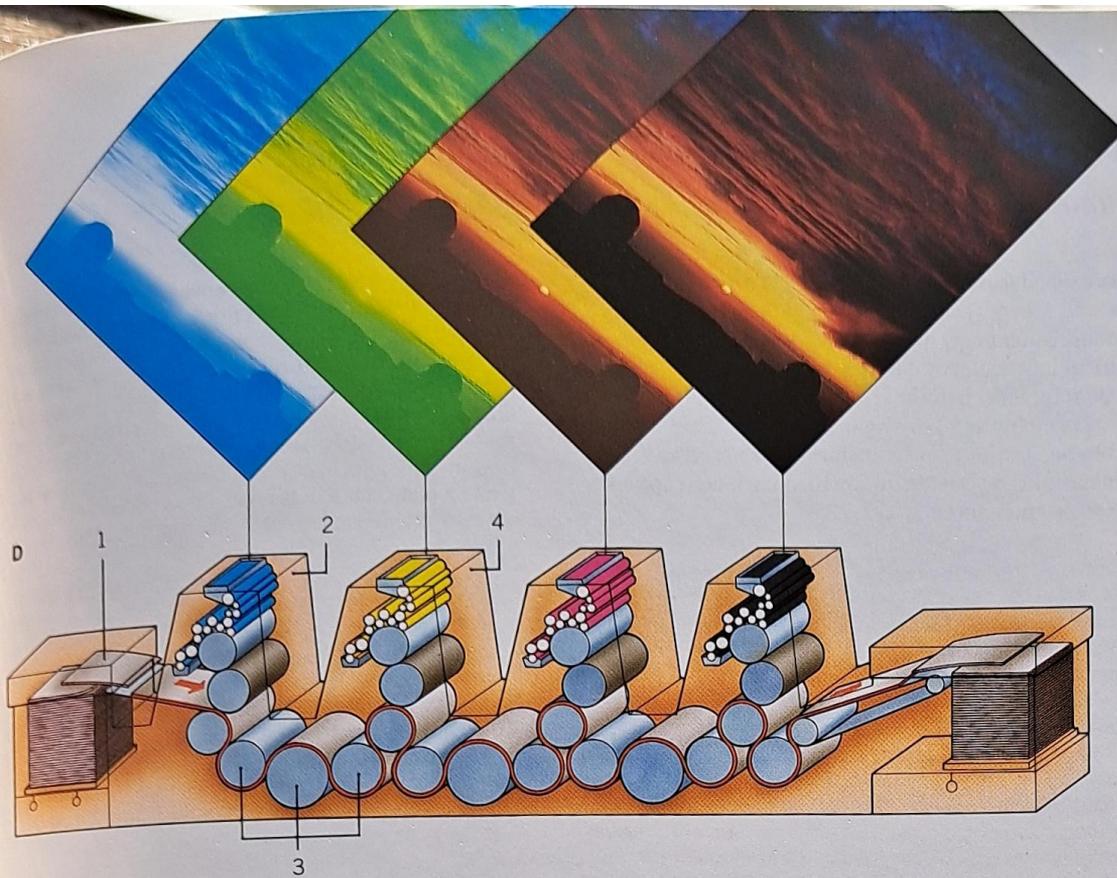
Na litografia [C], uma fina camada de água evita que as tintas à base de gordura se espalhem pelas zonas de não imagem da placa de impressão.



Tambores e rolos

Uma impressora litográfica [E] tem dois grupos, ou pirâmides, de rolos que transferem primeiro a água e depois a tinta para a superfície do cilindro [1]. Alguns rolos da pirâmide de água [2] estão cobertos por um tecido para os tornar «molháveis». A pirâmide de tinta tem rolos de um diâmetro diferente; alguns têm uma superfície de metal [3] e outros de borracha [4] e alguns podem deslocar-se de um lado para o outro [5]. A variabilidade do seu movimento e a textura ajudam a fazer com que a tinta se espalhe de modo uniforme pela superfície da placa.

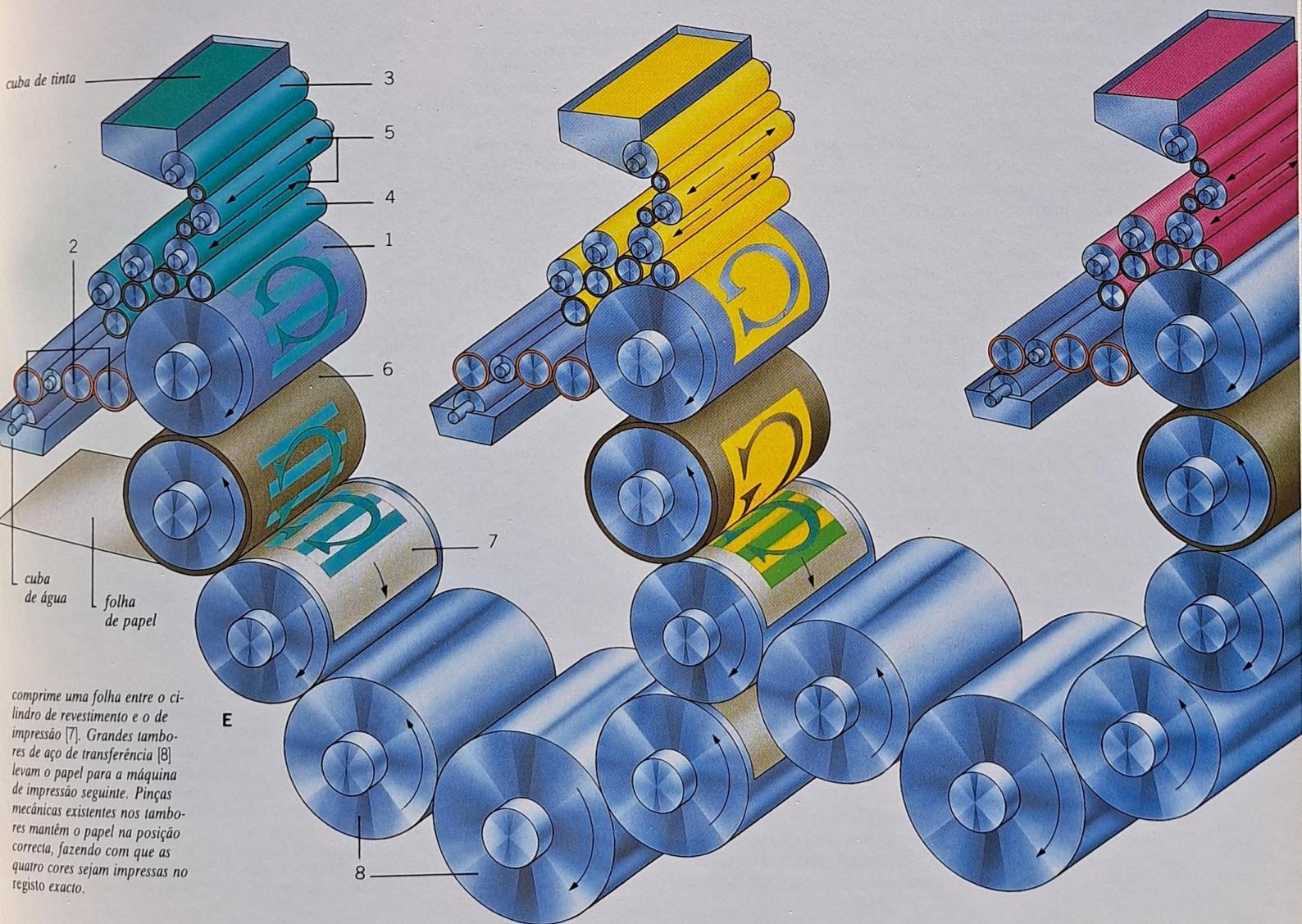
A imagem a tinta é então transferida para o cilindro revestido de borracha [6] e impressa sobre papel quando se



Cor a cor

Uma máquina de impressão litográfica a cores [D] compreende quatro prensas rotativas diferentes em fila. Cada uma delas deposita uma das quatro cores de base — ciano, amarelo, magenta e preto — sob a forma de um padrão de pontos pouco espaçados. Combinando os pontos de cores diferentes nas proporções correctas, pode reproduzir-se praticamente qualquer cor ou tom.

As folhas de papel são puxadas uma a uma por um alimentador de sucção [1] e passam pela primeira prensa [2], que imprime o ciano. Os tambores de transferência [3] levam a folha para a prensa seguinte [4], que adiciona o amarelo, e assim por diante. O caminho que a folha segue através da máquina de impressão é apresentado em cor de laranja.



comprime uma folha entre o cilindro de revestimento e o de impressão [7]. Grandes tambores de aço de transferência [8] levam o papel para a máquina de impressão seguinte. Pinças mecânicas existentes nos tambores mantêm o papel na posição correcta, fazendo com que as quatro cores sejam impressas no registo exacto.

Informação interna

De que modo os componentes de um computador funcionam em conjunto

Uma olhadela para o interior de um computador pessoal revela pouco sobre o modo como ele funciona. Mas dentro da miríade de caixas de plástico encontram-se microprocessadores e circuitos de memória — *chips* constituídos por pastilhas de silício que podem conter até três milhões de transístores. Cada um deles funciona como um interruptor eléctrico, permitindo ou impedindo a passagem de impulsos eléctricos. Estes impulsos contêm os dados digitais que o computador manipula. Em cada segundo, mais de 100 milhões de operações lógicas diferentes são realizadas, sendo os seus resultados exibidos num ecrã em cores e imagens «amigáveis».

Os computadores pessoais são dispositivos digitais que funcionam adicionando e efectuando operações lógicas sobre números digitais — séries de uns e zeros. Os números podem representar muitas coisas, entre as quais letras, localizações na memória do computador e posições no ecrã. A manipulação matemática destes números é efectuada fora da *unidade central de processamento* (CPU), o centro nervoso do computador. Esta encontra-se fixada a uma *placa principal*, que contém os componentes electrónicos integrados do computador — os circuitos de memória, os circuitos lógicos que ligam tudo e os encaixes para placas de expansão. Estes últimos são utilizados para adicionar *placas* — circuitos adicionais que controlam *periféricos* específicos como um monitor de alta resolução. A ligação entre todos os circuitos diferentes, os encaixes para placas de expansão e as saídas a placa principal é feita por meio do *bus do sistema*, uma auto-estrada de sinais que transporta até três milhões de unidades de informação por segundo.

Algumas placas de expansão e dispositivos de armazenagem necessitam que a CPU lhes forneça dados a um ritmo ainda mais rápido. Um segundo *bus*, mais rápido, conhecido por *bus local*, consegue deslocar dados 50 vezes mais depressa do que o *bus* do sistema.

Armazenagem segura

Para guardar os seus dados e programas, os computadores necessitam de dois tipos de memória — a memória ROM (*read-only memory* — memória só de leitura) e a memória RAM (*random access memory* — memória de acesso aleatório). A unidade básica de informação é o *byte* — sequência de oito uns ou zeros, correspondendo a um número entre 0 e 255. A elevada capacidade de memória dos computadores modernos é normalmente medida em *quilobytes* (na realidade, 1024 bytes) ou em *megabytes* (1 048 576 bytes). A ROM é pré-programada com as rotinas de que o computador necessita para começar a funcionar e manter-se em funcionamento. Pelo contrário, pode escrever-se e apagar-se na RAM para guardar dados e programas. Um PC típico tem 8 megabytes de RAM, tendo cada byte um endereço específico.

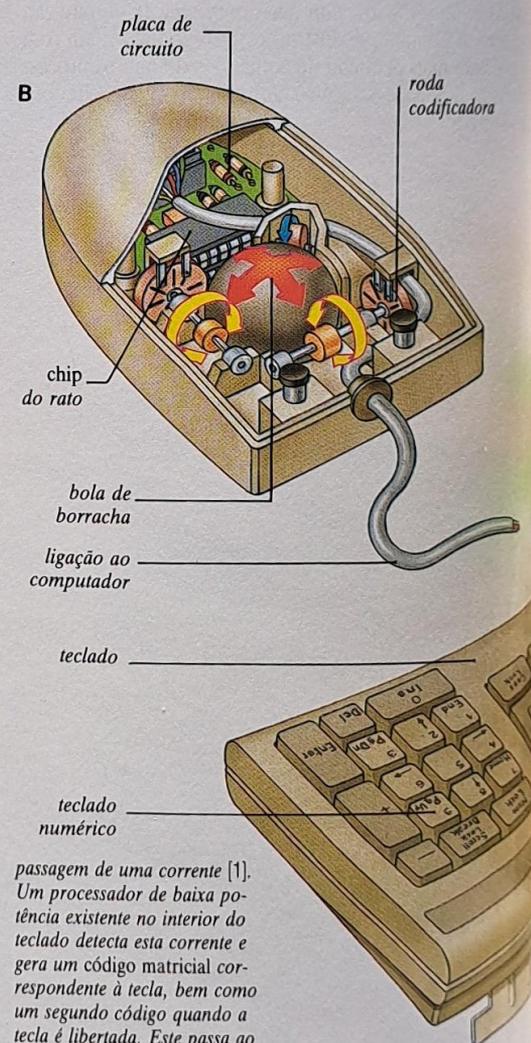
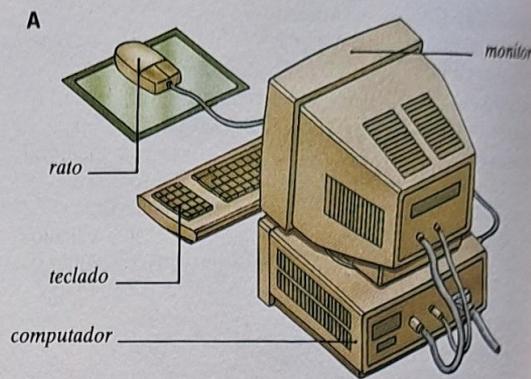
As unidades de disco do computador proporcionam uma armazenagem mais permanente. O disco rígido pode armazenar centenas de milhões de bytes de dados nas suas superfícies magnéticas, mas o tempo de acesso é muito lento, em comparação com a memória electrónica. A unidade de disquetes utiliza métodos magnéticos semelhantes para armazenar ficheiros e programas num pequeno disco que pode ser retirado. Uma terceira forma de armazenagem é o *CD-ROM*, semelhante a um disco compacto áudio, mas com biliões de bytes de código computadorizado em vez de som digitalizado. O nome indica uma importante limitação — ao contrário de outras formas de armazenagem, os *CD-ROM* são dispositivos só de leitura, nos quais o computador não pode escrever dados.

Arquitetura de computadores

A parte de trás de um computador [A] é um emaranhado de fios diferentes que ligam a unidade principal aos periféricos — teclado, ecrã, impressora e rato [B]. Este é um dispositivo que serve para apontar e fazer deslocar um cursor à volta do ecrã. Os movimentos de um lado para o outro e para cima ou para baixo fazem girar uma bola de borracha que se encontra no interior do rato. Esta, por sua vez, faz girar rodas de transmissão ligadas a rodas codificadoras, que convertem os movimentos em impulsos eléctricos. Um circuito integrado que se encontra no interior do rato recolhe a informação e envia-a para o computador.

No interior da própria unidade principal [C] encontra-se um labirinto de chips e outros dispositivos, todos ligados à placa principal. A fonte de alimentação converte a electricidade da rede nas voltagens constantes de que os chips do computador necessitam. A unidade de disco rígido é colocada no interior de uma caixa hermética para evitar que cabelos ou partículas de poeira provoquem bloqueios. Utiliza-se uma unidade de disquetes para ler e escrever em discos magnéticos amovíveis de 10 cm. Ambas as unidades de disco estão ligadas ao bus do sistema, que liga os vários componentes uns aos outros. A frequência do bus é estabelecida pela frequência do relógio do computador. Quanto maior for a velocidade do relógio, mais depressa pode o computador processar dados — e mais potente é.

A relação entre os tipos de chips existentes no interior do computador pode ser mais facilmente compreendida se se seguir os passos de um processo simples — o registo de uma única pressão de tecla. A própria tecla funciona como um simples interruptor — ao pressioná-la, fecha os contactos e permite a



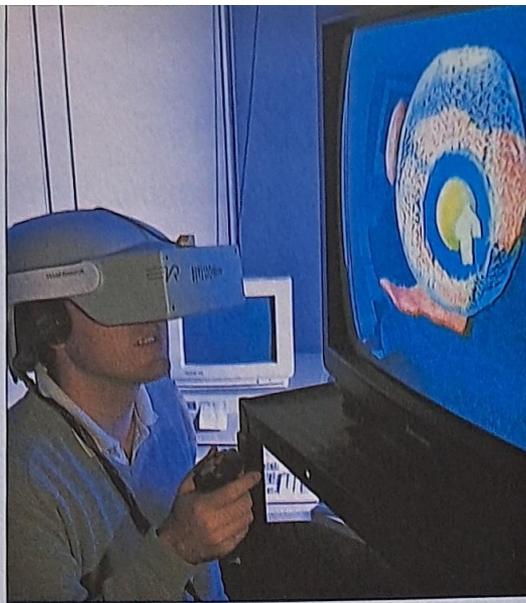
passagem de uma corrente [1]. Um processador de baixa potência existente no interior do teclado detecta esta corrente e gera um código matricial correspondente à tecla, bem como um segundo código quando a tecla é libertada. Este passa ao longo do cabo do teclado até ao chip do BIOS (*Basic Input/Output Set* — Conjunto Básico de Entrada/Saída) [2], que traduz os dois códigos matriciais num único código ASCII (*American Standard Code for Information Interchange* — Código Americano Normalizado para Intercâmbio de Informação), a linguagem utilizada para representar letras e símbolos na maior parte

das comunicações entre computadores. O código passa para a CPU [3], que processa os dados para mostrar a letra no ecrã. As rotinas da memória ROM [4] também dizem à CPU para armazenar um registo da pressão da tecla na memória RAM, em SIMM (*Standard In-line Memory Modules* — Módulos Padrão de Memória em Linha) [5].

Capacidade de processamento

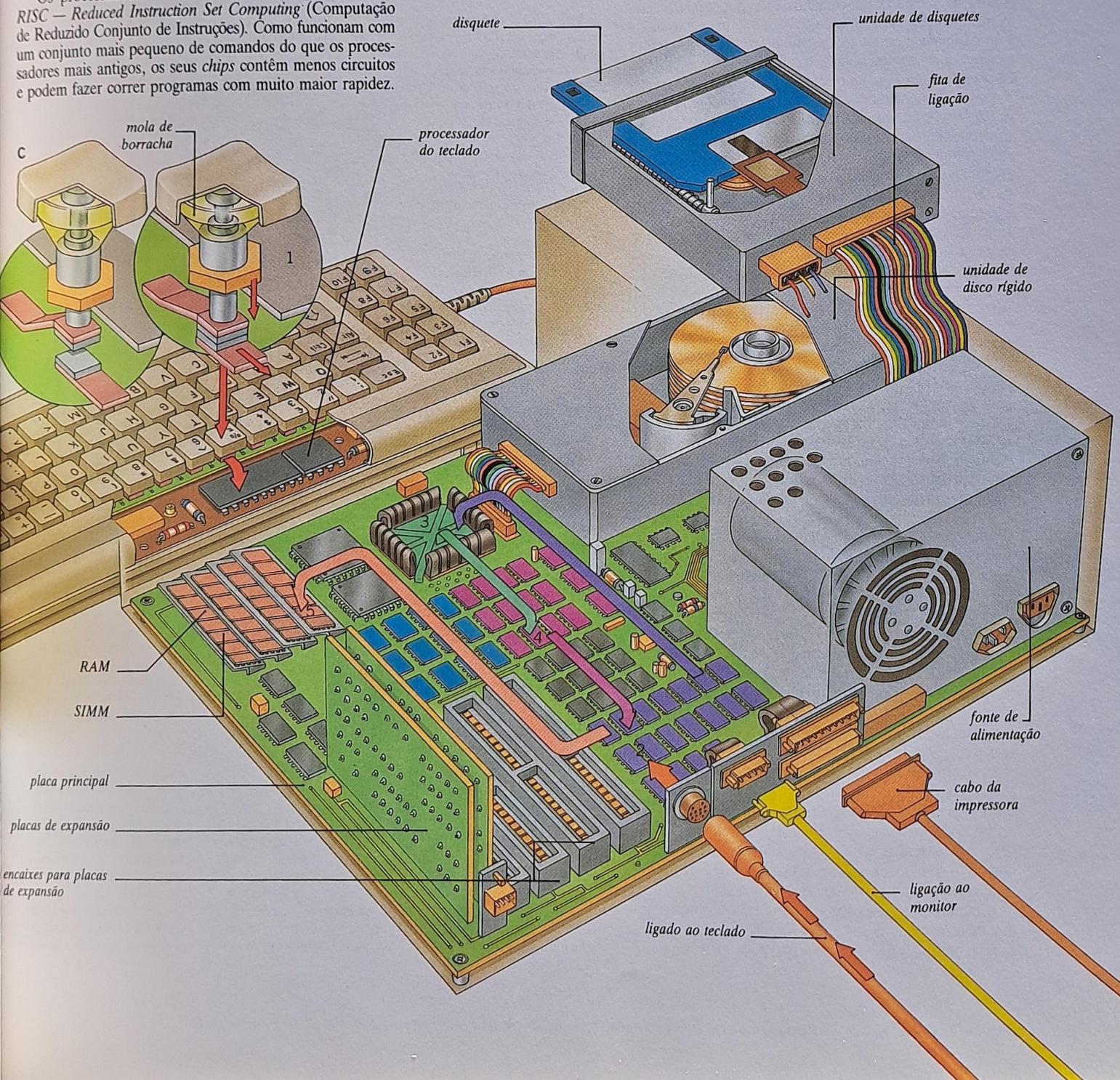
Quando um programa está a correr, unidades diferentes no interior da CPU fiscalizam o processamento e a transmissão dos dados. Uma *unidade predeterminadora* escolhe quais os pedaços de código que serão necessários a seguir e pede à *unidade relacional do bus* para os ir buscar à memória RAM. Outras unidades fazem a tradução entre os endereços utilizados pelos *chips* da CPU e da RAM. O coração da CPU é a *unidade lógica e aritmética*, que efectua cálculos simples e comparações entre números binários, enviando os resultados de novo para a unidade relacional do *bus* para armazenagem na memória RAM. A capacidade dos computadores pessoais advém do facto de efectuarem cerca de 100 milhões destes passos por segundo.

Os processadores mais recentes são os processadores RISC — *Reduced Instruction Set Computing* (Computação de Reduzido Conjunto de Instruções). Como funcionam com um conjunto mais pequeno de comandos do que os processadores mais antigos, os seus *chips* contêm menos circuitos e podem fazer correr programas com muito maior rapidez.



Outro mundo

O teclado, o rato e o monitor não são os únicos modos de interacção com um computador. Um capacete de realidade virtual e um manipulo de jogos permitem que um cientista explore a estrutura complicada de uma molécula de proteína, através de um modelo tridimensional (à esquerda) gerado por computador.



Memória absoluta

De que modo os computadores armazenam informação e programas

O disco rígido que se encontra dentro de um computador pessoal é capaz de armazenar biliões de bytes de informação nas suas superfícies com revestimento magnético. Os dados são registados por cabeças de leitura/escrita, minúsculos electroimanes que se encontram a dois milésimos de milímetro da superfície do disco e conseguem deslocar-se para qualquer local em menos de quinze milésimos de segundo. Mas até este tempo de recuperação é demasiado lento para alimentar o processador de um computador. Por isso, quando um programa está a correr, é copiado do disco para *chips* de memória rápida, onde as suas instruções podem ser acedidas muito mais rapidamente.

O desempenho dos computadores pessoais é muitas vezes definido em termos da velocidade a que a CPU, ou *unidade central de processamento*, pode efectuar cálculos matemáticos. Tão importante como isso é a memória do computador — a zona electrónica em que a CPU armazena os dados utilizados para os cálculos e respectivos resultados. Para além disso, a memória tem de conter o programa que está a ser utilizado — a lista de instruções que diz à CPU por que ordem deve efectuar os cálculos.

A memória tem duas formas principais. Na memória ROM (*read-only memory*), não se pode escrever, mas é ela que contém os programas de que o computador necessita para começar a funcionar, para além das rotinas que controlam o modo como interpreta os sinais provenientes do teclado e de outros periféricos. Na memória RAM (*random access memory*), pode escrever-se e pode ser lida. Armazena programas de aplicação, por exemplo processadores de texto, quando estão a ser utilizados, bem com os ficheiros que estão a manipular.

últimos, a rotação do disco e os dados enviados para as cabeças são todos coordenados pelo controlador do disco, um sistema electrónico montado num dos encaixes para placas de expansão do computador.

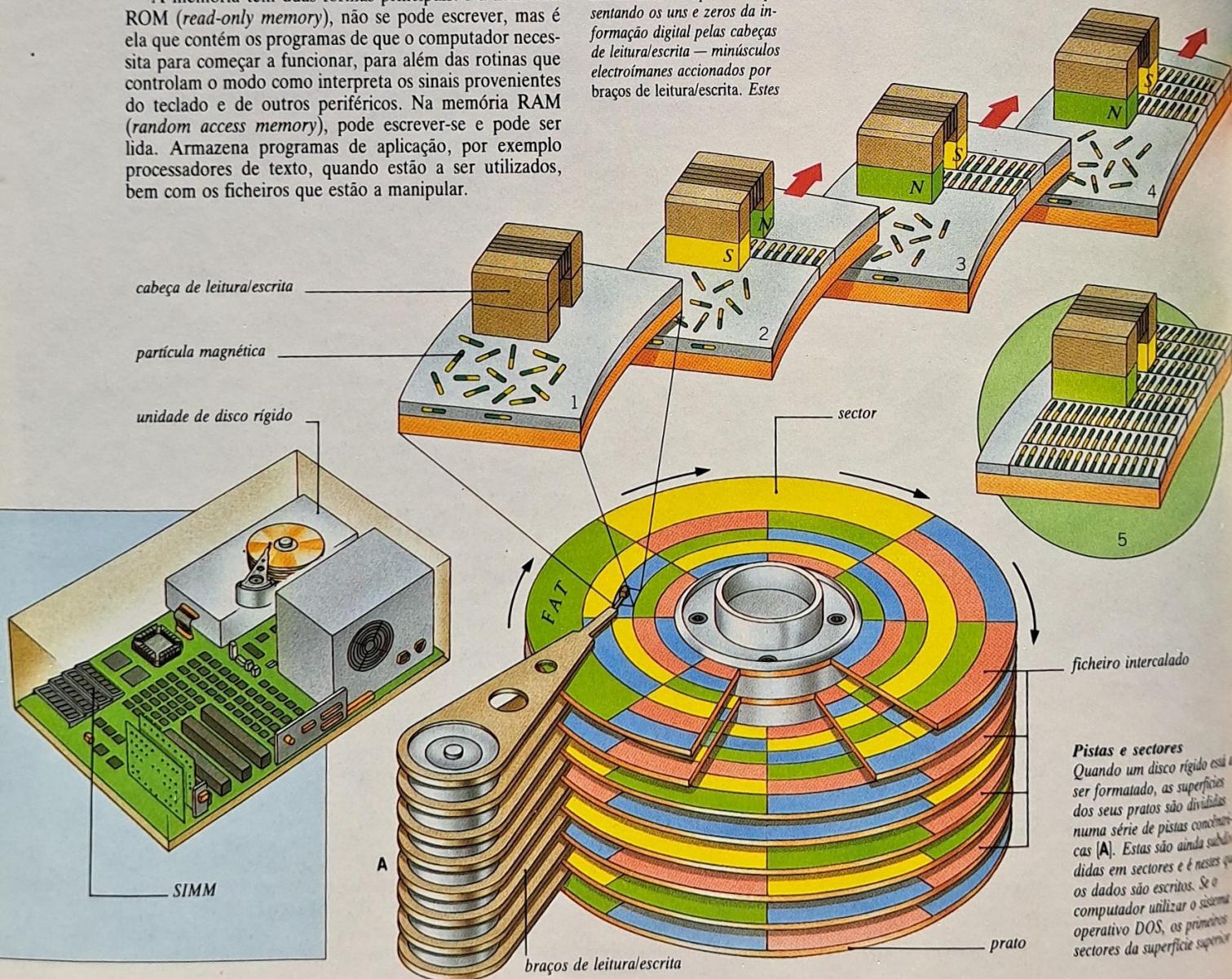
Para gravar informação, a cabeça começa por se deslocar para uma pista, isto é, uma zona determinada da superfície do disco. Uma corrente passa em impulsos através de uma bobina de fio que se encontra à volta da cabeça, criando um campo magnético. As partículas existentes na superfície do disco são primeiro orientadas aleatoriamente [1], mas à medida que passam por baixo da cabeça alinham-se com este campo para

registarem um 1 [2]. Depois de o disco ter efectuado uma deslocação minúscula, outro impulso de corrente na direcção oposta inverte a polaridade do campo [3], alinhando as partículas na direcção oposta para representarem um 0. O impulso seguinte tem a mesma direcção, por isso representa outro 0 [4].

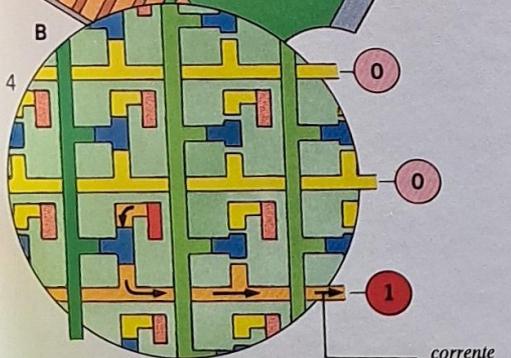
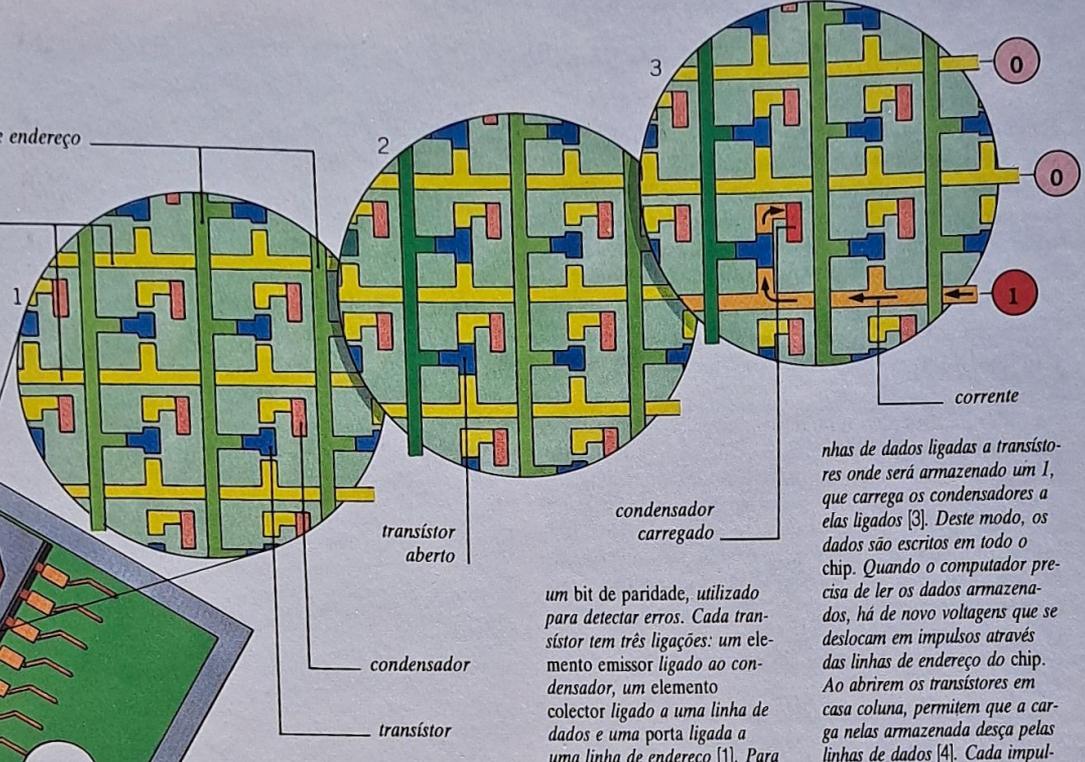
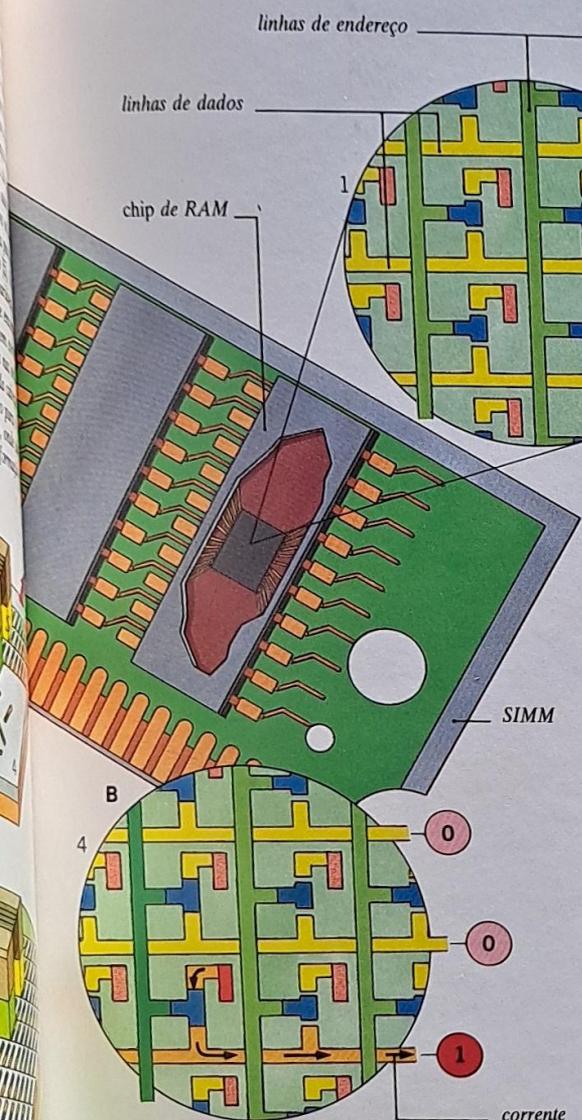
Para ler de novo os dados, a cabeça é deslocada para a parte relevante do disco [5]. Os campos magnéticos variáveis do revestimento que se encontram por baixo induzem correntes correspondentes nas bobinas situadas à volta da cabeça. Estas passam de novo para o controlador do disco, onde são reconvertidas em informação digital.

Memória magnética

A unidade de disco rígido de um computador [A] funciona de modo semelhante a um velho gira-discos. Em vez de um único disco, contém uma pilha de pratos, que giram 100 vezes por minuto. As suas faces têm um revestimento que contém minúsculas partículas magnéticas que são alinhadas em padrões representando os uns e zeros da informação digital pelas cabeças de leitura/escrita — minúsculos electroimanes accionados por braços de leitura/escrita. Estes



Pistas e sectores
Quando um disco rígido está a ser formatado, as superfícies dos seus pratos são divididas numa série de pistas concêntricas [A]. Estas são ainda subdivididas em sectores e é nestes que os dados são escritos. Se o computador utilizar o sistema operativo DOS, os primeiros sectores da superfície superior



Armazenagem em estado sólido
 A memória principal do computador é a sua D-RAM, ou memória de acesso aleatório dinâmica, que tem a forma de SIMM, módulos de encaixe contendo 9 chips de memória [B]. Cada chip é entrecruzado por uma grelha de linhas de endereço verticais e linhas de dados horizontais, com um transistor e um condensador em cada junção. Os dados são armazenados sob a forma de «palavras» digitais de 8 bits; em cada chip é utilizada a mesma localização do transistor para armazenar um bit de cada palavra, e o nono chip armazena

um bit de paridade, utilizado para detectar erros. Cada transistor tem três ligações: um elemento emissor ligado ao condensador, um elemento colector ligado a uma linha de dados e uma porta ligada a uma linha de endereço [1]. Para introduzir dados na D-RAM, uma voltagem positiva desloca-se de linha de endereço em linha de endereço através do chip, «abrindo» todos os transistores em cada linha por onde passa [2]. Faz-se circular uma corrente eléctrica através das li-

nhas de dados ligadas a transistores onde será armazenado um 1, que carrega os condensadores a elas ligados [3]. Deste modo, os dados são escritos em todo o chip. Quando o computador precisa de ler os dados armazenados, há de novo voltagens que se deslocam em impulsos através das linhas de endereço do chip. Ao abrir os transistores em casa coluna, permitem que a carga nelas armazenada desça pelas linhas de dados [4]. Cada impulso de corrente detectado é traduzido por um 1.
 A carga dos condensadores vai-se escoando gradualmente, por isso os dados têm de ser periodicamente reescritos, tornando a D-RAM uma forma de memória «lenta».

estado lógico estável (representando um 0, por exemplo) para outro (representando um 1). Como os multivibradores biestáveis não dependem de condensadores para a armazenagem de dados, não têm que passar pela fase de reescrever bits. Isto faz com que a S-RAM seja uma forma «mais rápida» do que a D-RAM.

Infelizmente, a S-RAM é também mais volumosa e o seu fabrico mais caro, por isso tende a ser utilizada apenas como memória cache. Esta zona de memória especial é utilizada para armazenar dados e segmentos de programa que é provável que a CPU queira utilizar rapidamente. O software controla o fluxo de dados para dentro e para fora da memória principal, deixando-a prever que secções é que o computador irá necessitar de utilizar a seguir. Estas secções são carregadas na S-RAM cache, de onde a CPU as pode ler muito mais rapidamente do que a partir da memória normal, aumentando a velocidade do programa.

Ambos os tipos de RAM têm um inconveniente importante — quando a corrente eléctrica é desligada, a informação que armazenam desaparece. O computador tem, por isso, que ter um lugar para armazenar de modo permanente o software e os ficheiros. A unidade de disco rígido é constituída por vários pratos metálicos com um revestimento que contém partículas magnéticas microscópicas. A informação é armazenada nos pratos do mesmo modo que um gravador de cassetes regista música, sob a forma de padrões de alinhamento destes minúsculos ímanes. Um disco que ocupa apenas uma pequena área dentro do computador tem uma capacidade que excede em muito a proporcionada por um volume idêntico de RAM — por vezes, muitos gigabytes (bilhões de números binários de oito dígitos).

do disco formam a tabela de localização de ficheiros (FAT). Trata-se de um registo de que sectores estão a ser utilizados para armazenar cada ficheiro. As cabeças são mantidas a uma minúscula distância das superfícies dos pratos e estão tão perto que qualquer partícula de poeira pode ficar presa e provocar danos graves. Por esta razão, o disco está selado no interior de uma caixa hermética. A intercalação proporciona uma protecção adicional. Os ficheiros maiores podem ocupar mais de um sector. Em vez de os armazenar lado a lado na mesma pista, são separados e distribuídos por todo o disco, de modo a que qualquer erro não destrua completamente o ficheiro.

Estática e dinâmica

A própria RAM tem duas formas. Grande parte da memória dos computadores pessoais é do tipo a que se chama RAM Dinâmica ou D-RAM. Os uns e os zeros dos números binários são armazenados na D-RAM como cargas contidas em centenas de milhares de minúsculos condensadores colocados em chips de silício especiais. Cada condensador está ligado a um transistor, interruptor electrónico que pode abrir-se ou fechar-se para permitir que a carga entre ou saia dos condensadores. Quando a RAM Dinâmica é lida, as cargas deslocam-se para fora dos condensadores e são detectadas como correntes. Infelizmente, durante este processo a memória é apagada, por isso, depois de cada leitura da RAM Dinâmica, os dados têm de ser reescritos nos circuitos.

A RAM Estática (ou S-RAM) é uma alternativa à D-RAM. Em vez de condensadores, contém circuitos electrónicos chamados multivibradores biestáveis (mais vulgarmente, flip-flops). O nome comum descreve precisamente a sua acção. Os impulsos eléctricos que lhes são enviados fazem com que estes dispositivos passem de um

Redes electrónicas

De que modo as redes ligam os computadores uns aos outros

De cada vez que um cliente de um banco utiliza uma caixa automática, ele está a fazer uso de uma rede informática. A caixa automática — na realidade, um pequeno computador que conta notas — está ligada por linhas electrónicas a um computador central que regista todas as transacções e que, por sua vez, está ligado a milhares de máquinas semelhantes em todo o país. Um cliente de um banco estrangeiro também pode utilizar a mesma máquina, utilizando ligações entre diferentes redes bancárias. As ligações electrónicas entre computadores abarcam agora todo o mundo e ligam milhões de pessoas através da Internet.

As redes informáticas têm muitas formas diferentes, desde as pequenas *Redes Locais* (Local Area Networks — LAN) às *Redes Regionais Alargadas* (Wide Area Networks — WAN), que podem abarcar continentes em todo o planeta. As LAN variam em tamanho desde alguns utilizadores, que se juntam para partilhar uma impressora, a grandes organizações com muitos milhares de dispositivos ou nós, incluindo computadores com discos rígidos de enorme capacidade, chamados servidores, e uma enorme variedade de diferentes dispositivos de impressão e desenho.

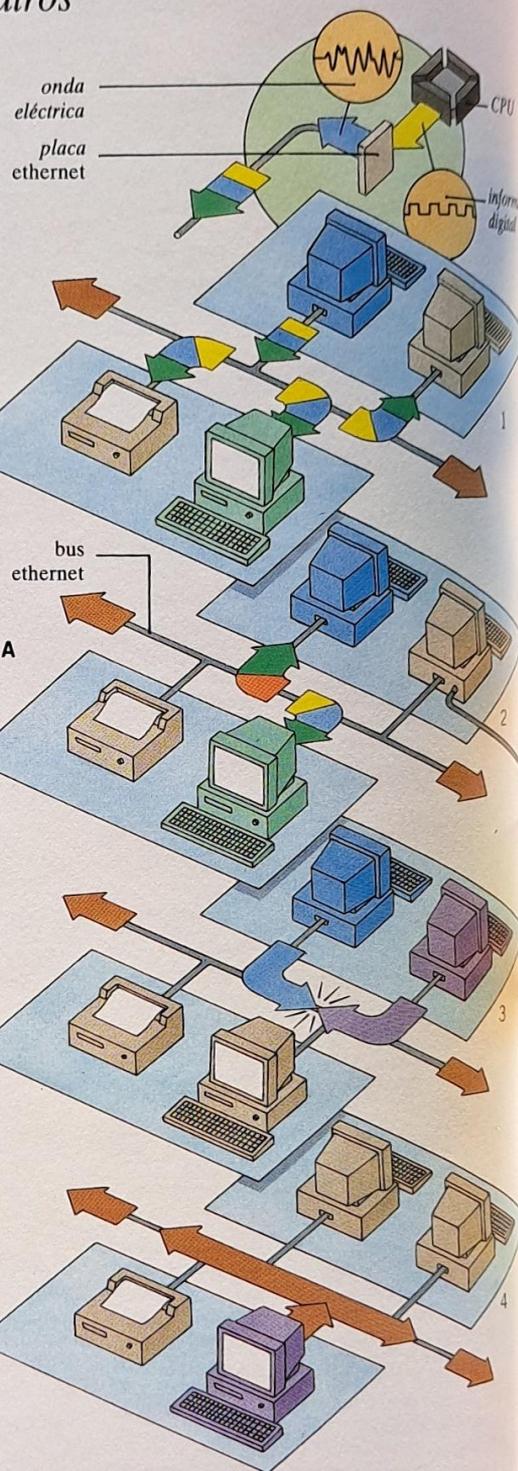
As interligações de uma LAN podem ter diferentes disposições físicas ou *topologias*. Uma dessas disposições é o *bus* (também conhecido por *ethernet*). Aqui, os nós ramificam-se a partir de um longo cabo (o *bus*). Cada nó está equipado com uma placa que traduz informação digital numa forma apropriada à transmissão e reconverte as mensagens recebidas em linguagem de computador. O próprio *bus* pode ser um cabo coaxial, semelhante à ligação aérea de um televisor, ou um cabo de par torcido, constituído por dois condutores de cobre entrelaçados. Dado que este tipo de cabo está já instalado em muitos escritórios para ligações telefónicas, os *buses* são a forma mais popular de LAN.

Uma topologia alternativa é a rede em *anel*, em que um código binário que transporta informação passa de máquina para máquina numa só direcção à volta de um circuito fechado. Outra configuração é a rede em *estrela*, em que os nós estão ligados a um *servidor* potente que funciona como semáforo, dirigindo o tráfego de nó para nó.

No bus

Quase todas as redes locais, como a desta sala de transacções de um banco (em baixo, à esquerda), estão ligadas umas às outras por um bus ethernet [A], que é um cabo com ramificações para placas colocadas em cada nó, quer seja um computador, uma impressora ou um servidor. A CPU (unidade central de processamento) de um computador envia os dados a transmitir para a placa, que adiciona etiquetas indicando o destino e o nome do remetente [1]. A mensagem desloca-se em ambas as direcções ao longo do cabo e é observada por cada nó por onde passa. Um nó ignora qualquer mensagem que não tenha o seu próprio endereço. Se for ele o destino, o nó extrai os dados e em seguida envia um aviso de recepção ao remetente [2].

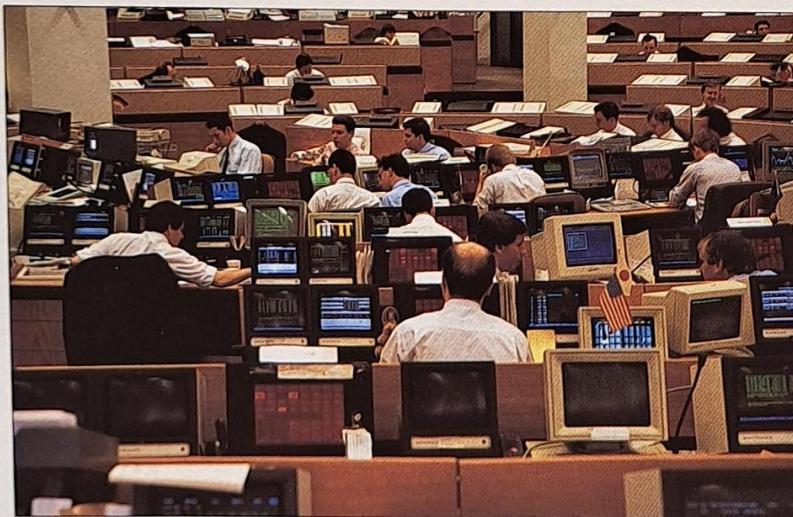
Por vezes, dois nós podem enviar mensagens ao mesmo tempo, resultando numa colisão [3]. Esta é detectada por um nó próximo, que envia um sinal para que todos os nós parem de emitir [4]. Após esperar durante um período aleatório, os remetentes podem tentar de novo.

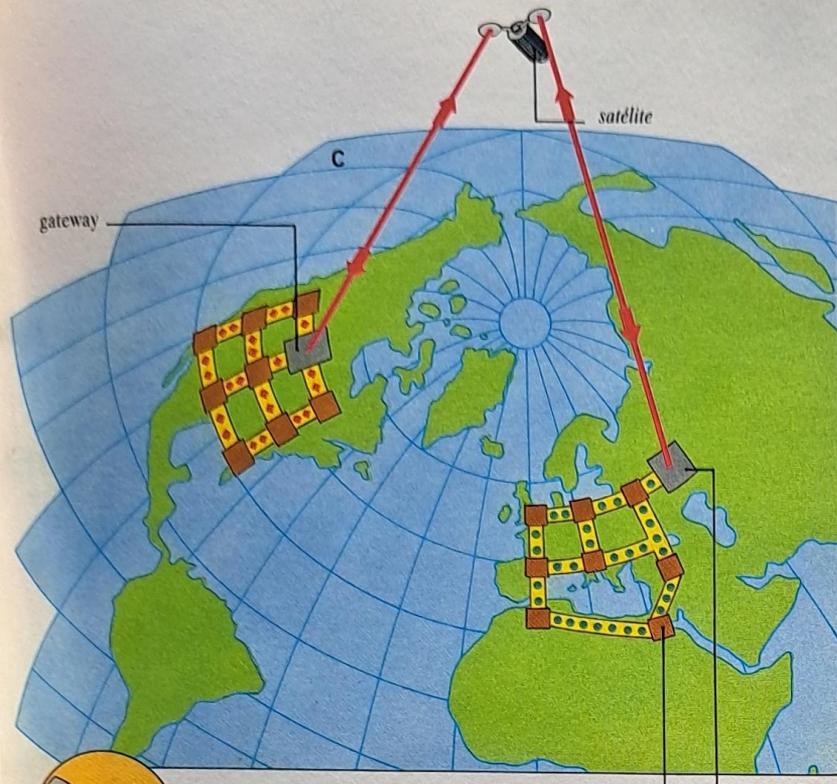


Ligação por modem

As linhas telefónicas estão concebidas para transmitir a voz humana sob a forma de ondas eléctricas. Para que possam transportar dados digitais, estes têm de ser primeiro convertidos em ondas similares através de um modem [B]. Este corta palavras digitais, constituídas por uns e zeros, em blocos de dois

digitos. Existem quatro permutações possíveis: cada uma é convertida por um modem numa frequência determinada de onda eléctrica. A mensagem digital, na sua forma traduzida, é enviada através do cabo telefónico. No seu destino, um segundo modem converte as ondas de novo em dados digitais.





Em linha

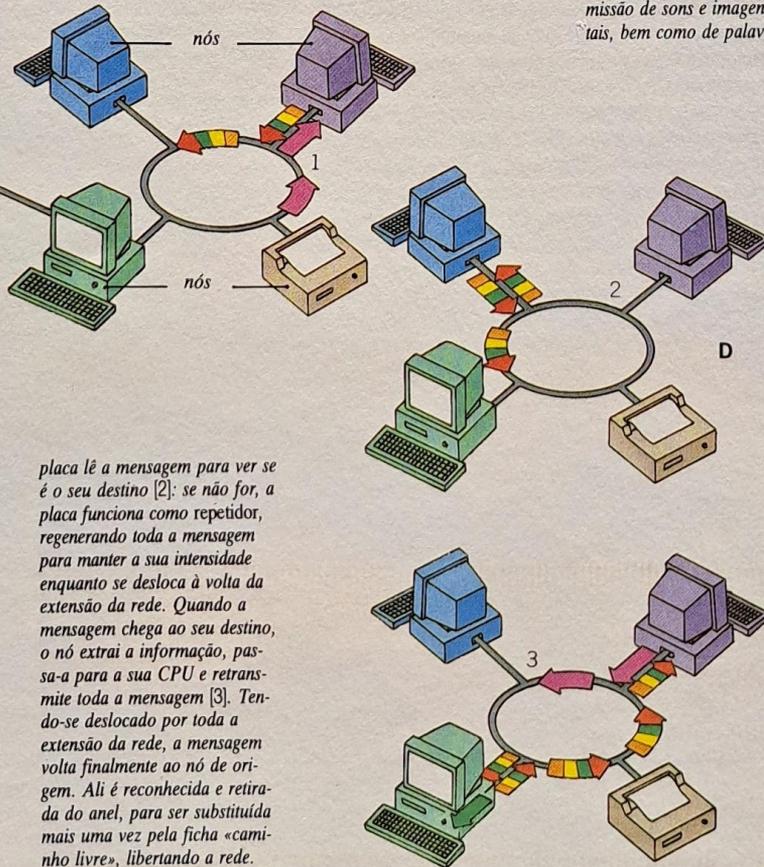
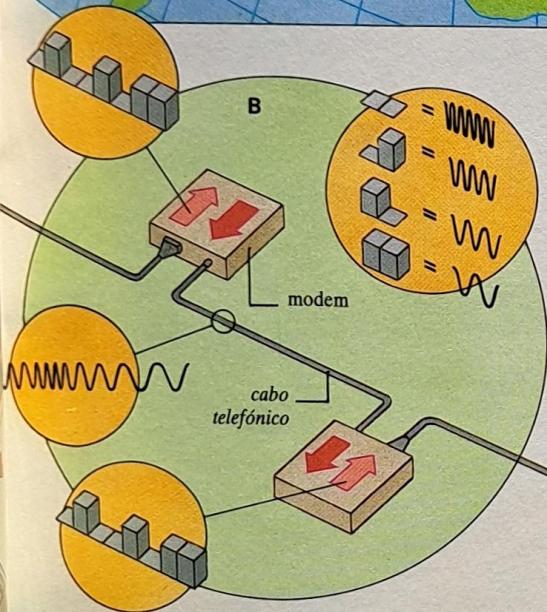
Os computadores não precisam de redes especiais para comunicarem uns com os outros. Os *modems* permitem a utilização de linhas telefónicas normais. O seu nome descreve o modo como funcionam, MODulação de informação sob uma forma que as linhas telefónicas possam transportar e DEModulação de mensagens similares que recebem. Os *modems* permitem que os trabalhadores à distância efectuem as suas tarefas em casa, comunicando com computadores existentes nos escritórios do patrão, e também podem enviar faxes directamente sem que uma letra sequer seja impressa.

Equipado com um *modem*, um computador pode ligar-se à maior rede de todas — a *Internet* —, que é a interligação de diferentes redes regionais alargadas, tanto do sector público como do privado, que abarca todo o globo. Os seus muitos milhões de utilizadores podem enviar correio electrónico uns aos outros e participar em *bulletin-boards* e fóruns de discussão electrónicos, para além de acederem a uma enorme variedade de bases de dados e informação digital.

A Internet

Através da Internet, um utilizador nos Estados Unidos pode comunicar com um colega na Rússia [C]. Não se trata, na realidade, de uma única rede, mas sim de uma interligação de muitas redes nacionais, que podem

utilizar protocolos diferentes — regras utilizadas pelos computadores para comunicarem uns com os outros (aqui representadas por símbolos diferentes). São necessários potentes computadores gateway (quadrados azuis) para traduzirem um protocolo para outro, permitindo a transmissão de sons e imagens digitais, bem como de palavras.



Anel de informação

Como o seu nome indica, cada um dos computadores ou impressoras — os nós — de uma rede em anel [D] está ligado a um vizinho de cada lado. Todos os nós contêm uma placa de rede que apenas pode transmitir dados para um nó vizinho e receber dados de outro. Uma mensagem de «caminho livre» ou ficha circula pela rede quando esta não está a ser utilizada. Um nó com uma mensagem para enviar «agarra» a ficha [1] e substitui-a por uma cadeia de quatro partes: uma mensagem de «em utilização», a própria informação, a própria informação e um código que pode ser utilizado para verificar erros de transmissão. Este passa de nó para nó através do anel. Cada

placa lê a mensagem para ver se é o seu destino [2]: se não for, a placa funciona como repetidor, regenerando toda a mensagem para manter a sua intensidade enquanto se desloca à volta da extensão da rede. Quando a mensagem chega ao seu destino, o nó extrai a informação, passa-a para a sua CPU e retransmite toda a mensagem [3]. Tendo-se deslocado por toda a extensão da rede, a mensagem volta finalmente ao nó de origem. Ali é reconhecida e retirada do anel, para ser substituída mais uma vez pela ficha «caminho livre», libertando a rede.

- informação
- endereço receptor
- endereço emissor
- mensagem recebida
- segundo emissor
- mensagem de linha livre
- ficha
- em utilização
- código de verificação de erros
- informação digital
- sinais de frequência áudio

Pensar o futuro

Qual será a evolução provável dos computadores

Os primeiros computadores só podiam ser utilizados por uma faixa seleccionada de pessoas versadas na complexa linguagem matemática da programação. Hoje, praticamente qualquer um pode comunicar com um computador através de interfaces «amigáveis» baseadas em ícones ou em comandos simples. Mas, quanto mais intuitiva for a utilização de uma interface, mais complexo tem de ser o computador para poder interpretar as instruções que recebe. Os computadores futuros, que serão capazes de reconhecer a voz e a caligrafia humanas, exigirão enormes aumentos de velocidade, de capacidade de processamento e de armazenagem.

O coração de um computador moderno é um microprocessador — um circuito constituído por milhões de componentes colocados na superfície de um circuito integrado de silício. Na próxima geração de computadores é provável que o silício seja substituído pelo arsenieto de gálio (GaAs), que, tal como o silício, é um semiconductor, mas podem colocar-se componentes mais pequenos na sua superfície para produzir circuitos mais densos e rápidos. O GaAs tem também uma maior velocidade de comutação do que o silício. Os electrões existentes no interior da sua estrutura cristalina podem deslocar-se mais livremente do que os do silício, permitindo que os transistores de um circuito integrado de GaAs se abram e fechem mais vezes por segundo e realizem um maior número de operações lógicas num dado tempo.

O arsenieto de gálio permite a construção de minúsculos dispositivos chamados poços quânticos, em que os uns e os zeros da informação digital são representados pela presença ou ausência de um único electrão e não do fluxo de electrões. Os chips baseados em poços quânticos são mais compactos e funcionam mais rapidamente e a temperaturas mais baixas do que os de silício.

Actualmente, as comunicações internas num computador têm a forma de impulsos eléctricos. Embora a electricidade se desloque rapidamente (um terço da velocidade da luz), podem obter-se óbvios ganhos de velocidade pela utilização da própria luz como meio de sinalização. Os feixes de luz também podem cruzar as suas trajectórias sem distorcerem a informação que transportam, ao contrário do que acontece com os sinais eléctricos, que

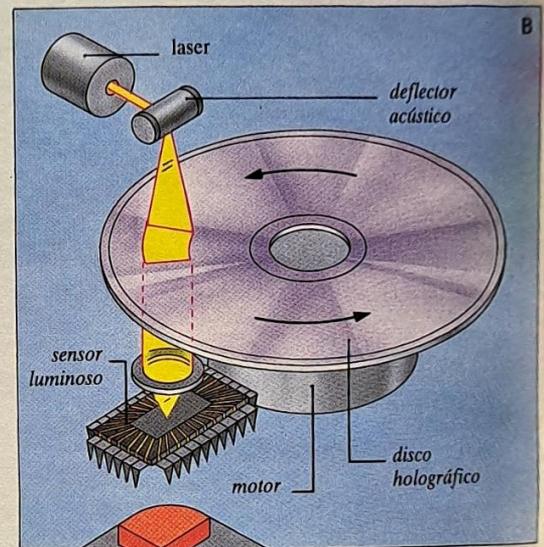
Caixa de truques

A luz tem vantagem em relação à corrente eléctrica como meio de transmissão de dados. Os raios luminosos podem passar uns pelos outros sem qualquer consequência, enquanto cada sinal eléctrico precisa de ter o seu próprio percurso isolado. Os computadores futuros podem conter componentes que comuniquem utilizando sinais luminosos [A]. O seu «cérebro» pode ser constituído por várias unidades de processamento separadas (DPU), trocando informação através de impulsos de luz de laser. A informação pode ser armazenada por laser num disco holográfico ou num cubo de material 3-D ORAM. Os sinais de e para os ecrãs ou dispositivos de entrada deslocar-se-ão através de infravermelhos.

Disco em profundidade

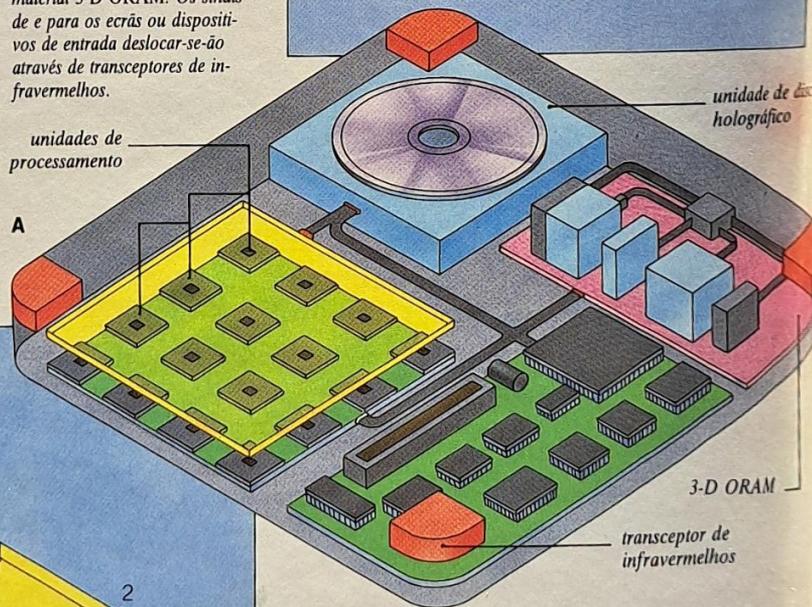
As unidades de discos ópticos já existem, mas apenas armazenam dados nas respectivas superfícies. Ao utilizarem hologramas, os computadores poderão armazenar segmentos de informação uns por cima dos outros em toda a profundidade de um disco mais grosso [B]. Para ler a informação,

um raio laser é focado sobre o disco por um deflector acústico. Diferentes hologramas são seleccionados, fazendo variar o ângulo segundo o qual o raio atinge o disco. A luz é absorvida ou reflectida pelo holograma; o padrão assim criado é detectado por um chip sensor luminoso e convertido em impulsos eléctricos.

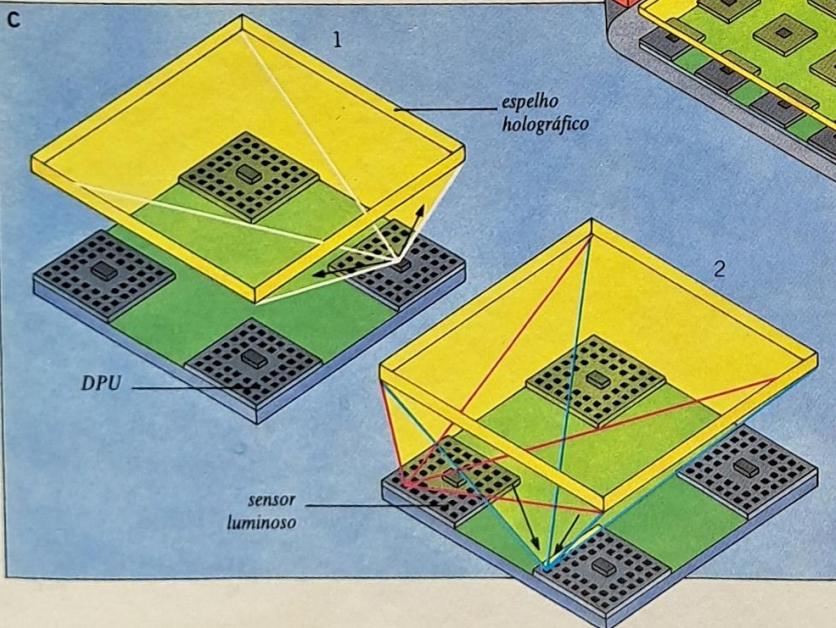


unidades de processamento

A



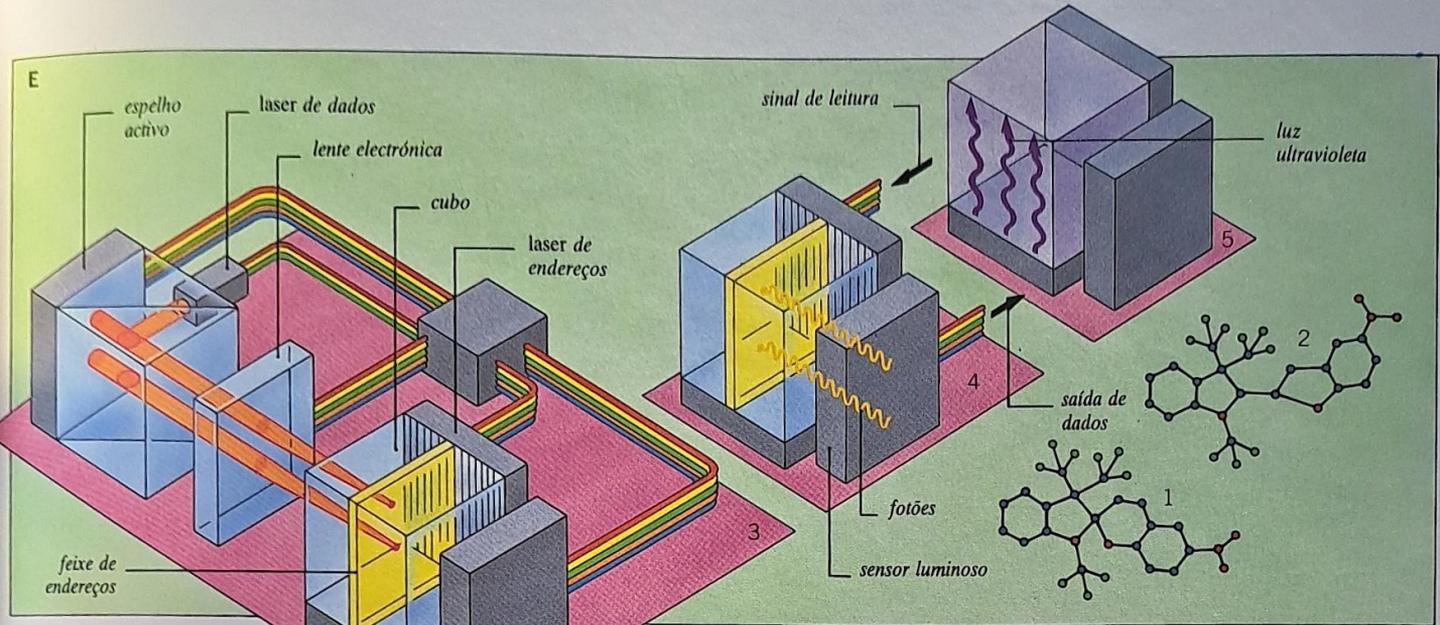
C



Sinalização com luz

Em vez de utilizar um único microprocessador, os computadores futuros poderão ter várias unidades de processamento separadas (DPU) [C]. Estas funcionam em paralelo, lidando cada unidade com uma parte de um problema e tornando, deste modo, o computador mais rápido.

Um laser no centro de cada DPU envia sinais para outras DPU sob a forma de rápidos impulsos luminosos, que são reflectidos por um espelho holográfico [1]. Este reflecte comprimentos de onda diferentes em diferentes direcções [2], separando as correntes de informação destinadas a diferentes DPU.

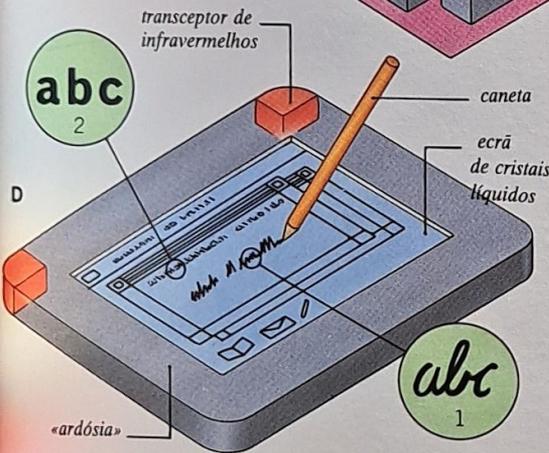


Bloco de memória

A molécula fotosensível spiropyrans [E], sensível à luz, pode existir sob duas formas: fechada [1] e aberta [2]. Quando uma molécula fechada é atingida por fotões — partículas luminosas — de duas cores determinadas, uma das suas ligações químicas quebra-se, produzindo a forma aberta. Mas, se esta for atingida por mais um fotão, a ligação volta a formar-se e a molécula emite um fotão. Este processo é a base da memória óptica tridimensional de acesso aleatório (3-D ORAM), que contém um cubo «dopado» com spiropyrans. Para armazenar informação [3],

a luz proveniente de um laser de dados é separada em dois feixes por meio de um espelho activo e em seguida focada por uma lente electrónica em dois pontos de um segmento do cubo já iluminado por um segundo laser de endereços. No lugar onde os feixes se cruzam produz-se a forma aberta da molécula. Para voltar a ler os dados [4], o feixe de endereços é

de novo ligado. Os seus fotões transformam de novo as spiropyrans abertas em fechadas, libertando mais fotões a partir dos dois pontos onde os dados foram registados. Um sensor luminoso converte os fotões em impulsos eléctricos, que passam de novo para o computador. Os dados armazenados no cubo podem ser apagados com luz ultravioleta [5].



Bloco-notas

O teclado é uma maneira incómoda de introduzir informação num computador. No futuro, muitos computadores [D] poderão recolher o seu input directamente da caligrafia — tarefa difícil, pois nenhuma caligrafia é igual a outra.

A interface consiste numa caneta que é utilizada para escrever sobre um ecrã de cristais líquidos sensível ao tacto.

O computador interpreta as linhas da caligrafia [1] e converte-as em palavras com letra de imprensa [2]. Essa interface poderia fazer parte de um computador sem fios «de estilo ardósia». Equipado com transmissores e sensores de infravermelhos, este poderia comunicar com outros computadores enquanto o utilizador se deslocasse de um lugar para outro.

necessitam cada um de um trajecto diferente. Isto poderá reduzir muito a extensão dos circuitos necessários a um computador.

Em aplicações informáticas, tais como a realidade virtual, há necessidade de se registar e recuperar muito rapidamente enormes quantidades de informação. Os discos rígidos actuais podem armazenar os gigabytes (bilhões de bytes) necessários à informação, mas a velocidade a que esta informação é «lida» é demasiado lenta para se obterem representações gráficas que evoluam ininterruptamente.

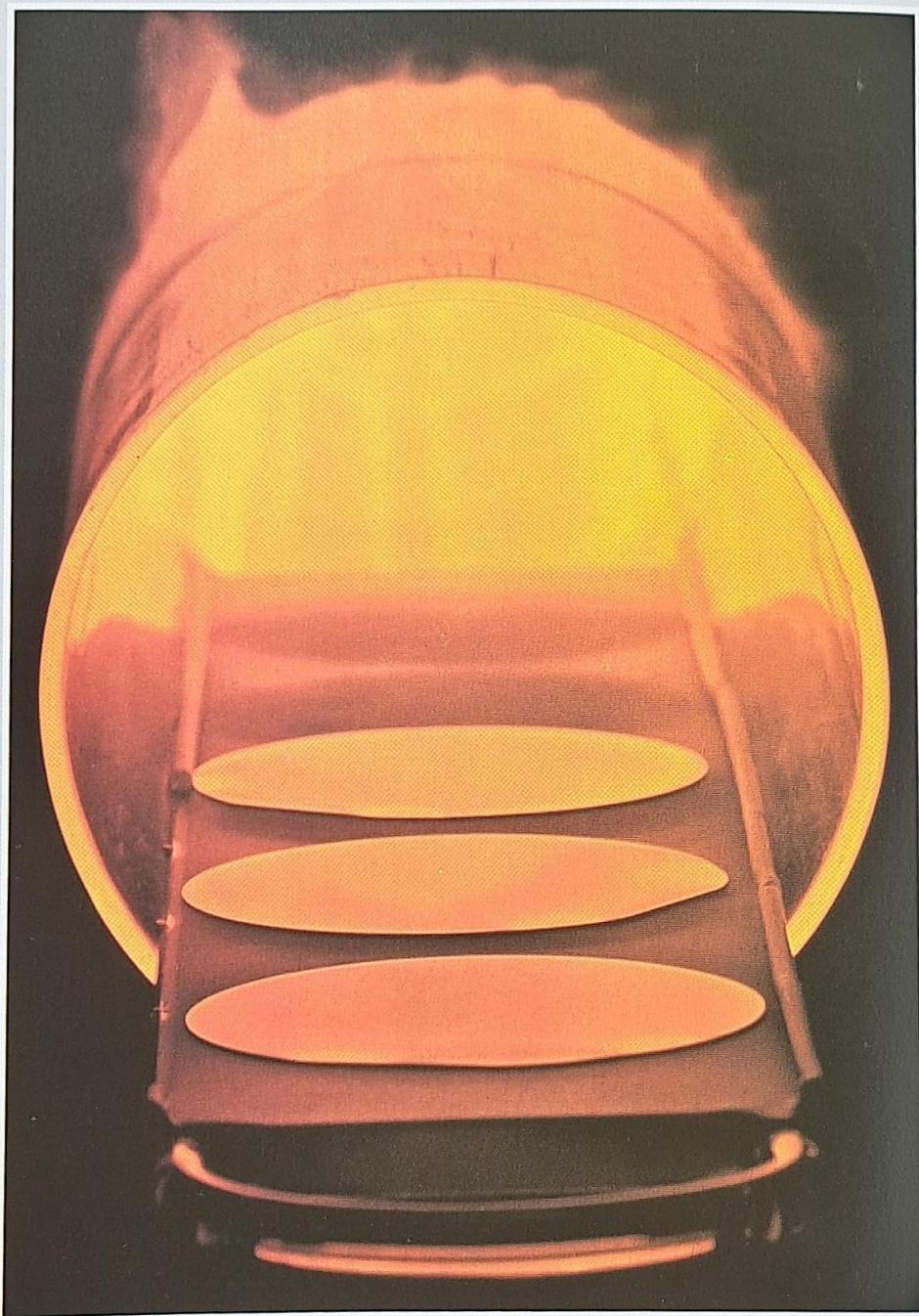
Memória mais rápida

Uma nova forma experimental de memória, chamada memória óptica tridimensional de acesso aleatório (3-D ORAM), tem uma capacidade idêntica mas pode ser lida milhares de vezes mais depressa. Os dados são registados num cubo de material sensível à luz. O dispositivo funciona de modo fundamentalmente paralelo — em vez de registar e ler um bit de cada vez, como um chip convencional, a ORAM armazena e lê milhares de bits em simultâneo, o que a torna um meio ideal para armazenar imagens em movimento. Pode fazer-se um disco de material semelhan-

te, que pode ser utilizado para armazenar informação sob a forma de um holograma. Calcula-se que um só disco destes — com um tamanho aproximado ao de uma unidade de disco rígido convencional — poderá armazenar mais de doze horas de imagens vídeo de alta definição.

O processador que estará no centro de um computador do futuro pode não ser um único chip, mas sim um conjunto de unidades de processamento separadas, comunicando umas com as outras por meio de impulsos luminosos. Estes subchips terão provavelmente uma arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computing). Os processadores dos PC actuais utilizam a arquitectura CISC (Complex Instruction Set Computing — Computação de Conjunto de Instruções Complexo) e funcionam processando um grande número de comandos especializados. Um processador RISC «compreende» um número muito menor de comandos simples, mas executa-os muito rapidamente. As tarefas mais complexas (mas que são utilizadas com menor frequência) são emuladas por algumas mais simples, por isso os chips RISC processam dados muito mais rapidamente do que os tradicionais.

Os computadores existentes funcionam realizando cálculos que distinguem entre os estados lógicos «verdadeiro» e «falso». Mas na linguagem quotidiana as distinções não são tão marcadas e é muitas vezes mais fácil trabalhar em termos de graus de veracidade (bastante quente, bastante ventoso, etc.). Este tipo de raciocínio é conhecido por lógica vaga. Em combinação com as redes neuronais — sistemas que aprendem a resolver problemas de modo semelhante ao cérebro humano —, a lógica vaga poderia ser utilizada para produzir um computador que emulasse o pensamento e a criatividade humanos.



As wafers circulares de silício feitas a partir de um único cristal de silício são cozidas a alta temperatura como parte do processo de fabricação de chips.

Arquitectura de silício

Como são feitos os chips de silício

Cada *chip* de silício é o produto final, quimicamente impresso com minúcia, de um processo de produção complicado. Começando com a matéria-prima mais vulgar — a areia —, o silício é processado e purificado, produzindo um único cristal com um metro de comprimento. Uma serra com ponta de diamante corta este cristal gigante em tiras extremamente finas, em que são impressas quimicamente centenas de microcircuitos, cada um dos quais contém mais de um milhão de minúsculos dispositivos electrónicos. Por fim, os circuitos integrados prontos são separados, dando origem ao produto final — todos os elementos de um computador contidos num quadrado mais pequeno do que uma unha.

Um cristal de silício puro não conduz electricidade, a menos que nele se encontrem difundidos vestígios de outras substâncias (ou *dopantes*). Os diferentes dopantes conferem ao silício propriedades especiais que são utilizadas para produzir dispositivos electrónicos como os transístores e os *circuitos integrados* ou *chips*.

O silício puro necessário ao fabrico dos circuitos integrados resulta de um longo processo de refinação que começa com a sílica, a principal componente da areia, que é aquecida com carbono, dando origem a 98% de silício puro — ainda demasiado contaminado para ser útil. Este silício é em seguida dissolvido em ácido clorídrico e o líquido daí resultante é sujeito a destilação fraccionada, como o petróleo bruto, para retirar quase todas as impurezas. O aquecimento do líquido restante numa atmosfera de hidrogénio dá origem a silício extrapuro.

Todavia, este silício encontra-se sob a forma de um aglomerado de cristais de diferentes tamanhos e orientações. Pelo processo de *crystal empurrado de Czochralski*, o silício é fundido num grande recipiente, onde se imerge uma sonda com uma pequena *semente de cristal* na ponta. Os átomos de silício juntam-se à semente num alinhamento perfeito com a sua estrutura, enquanto esta roda e é lentamente puxada para cima. Deste modo, a semente cresce até se transformar num único cristal cilíndrico com um metro de comprimento.

Numa sala esterilizada

Todos os passos do fabrico têm lugar naquela que é conhecida por «sala esterilizada», uma zona onde cada 30 cm³ de ar tem de conter menos de 1000 partículas minúsculas de poeira e humidade nula. A temperatura é mantida constantemente a 20°C e todos os trabalhadores têm de usar batas, luvas, máscaras e galochas. Tudo isto é necessário porque uma única partícula de poeira ou gotícula de água pode estragar todo um lote de *chips*.

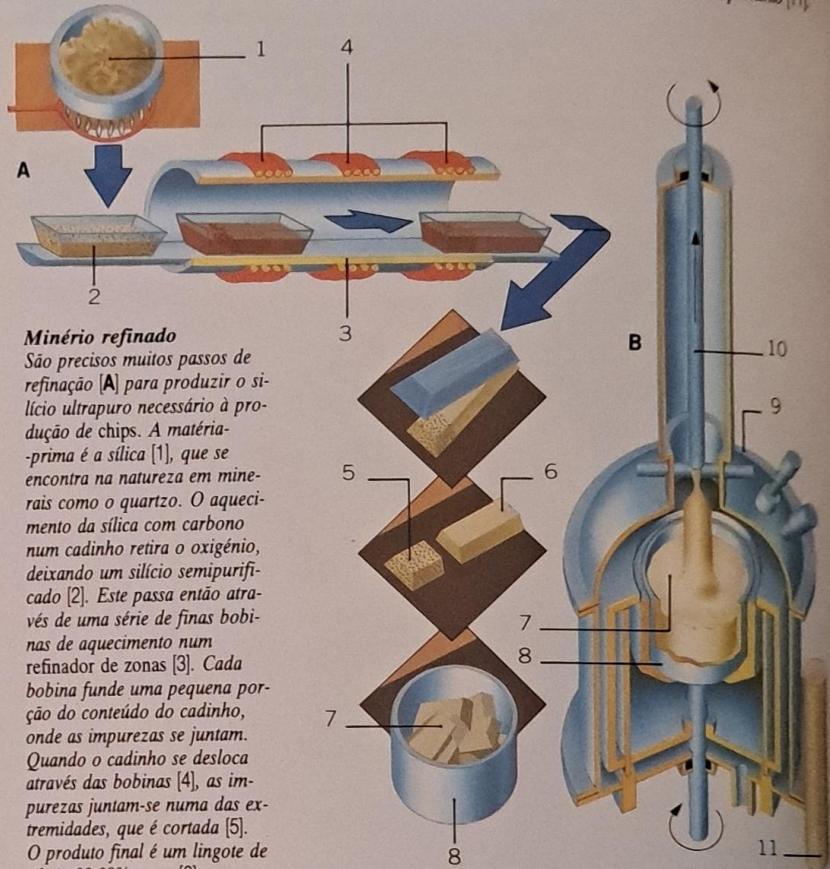
O gigantesco lingote de silício é transformado num cilindro perfeito, que é cortado em *wafers* de 1 mm de espessura por uma serra com ponta de diamante. Utilizando uma mistura de partículas com apenas um décimo de micrómetro de largura, as faces destas *wafers* são polidas até se obter uma base semelhante a um espelho, sobre a qual podem ser simultaneamente fotoimpressos duzentos circuitos integrados idênticos.

Cada *chip* é constituído por mais de um milhão de transístores, díodos e resistências interligados. Estes são formados a partir de camadas de silício dopadas de modos diferentes, com ligações isolantes de sílica e metal. Os *chips* completos, encaixados num invólucro protector de plástico e ligados a pernas metálicas semelhantes às de aranhas por meio de fios de ouro finos, vão ser incluídos em dispositivos tão diversos como relógios de pulso e sondas interplanetárias.

Cultivador de cristais

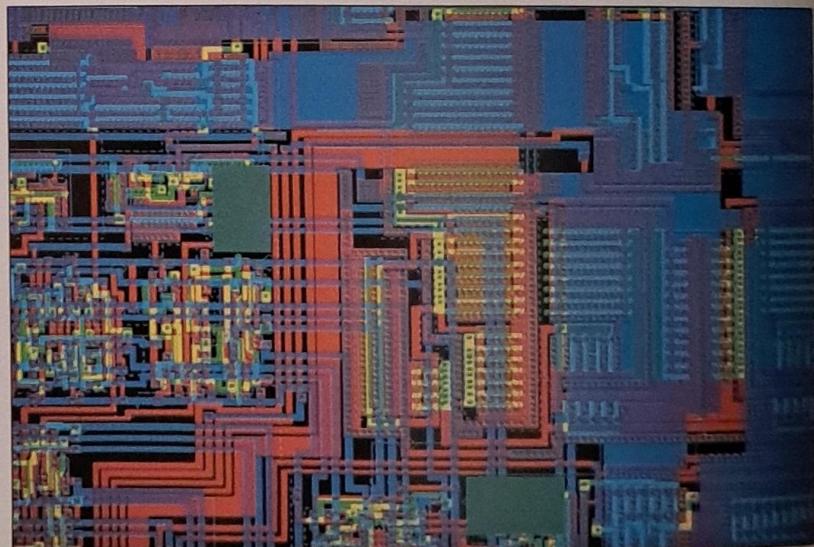
O passo seguinte no fabrico de circuitos integrados é produzir um único grande cristal de silício [B]. O silício puro proveniente de um refinador de zonas [7] é decomposto e fundido num cadinho [8]. Este roda na atmosfera de gás inerte no interior de um pressurizador [9]. Uma «semente» de cristal, orientada segundo um ângulo

determinado, é imersa no fluido na extremidade de uma vara metálica [10]. Faz-se baixar a temperatura do fluido fundido de tal modo que, enquanto o cristal é lentamente retirado do cadinho, os átomos de silício se ligam a ele segundo um alinhamento exacto, formando, ao solidificarem, um cristal perfeitamente cilíndrico de um metro de comprimento [11].



Minério refinado

São precisos muitos passos de refinação [A] para produzir o silício ultrapuro necessário à produção de chips. A matéria-prima é a sílica [1], que se encontra na natureza em minerais como o quartzo. O aquecimento da sílica com carbono num cadinho retira o oxigénio, deixando um silício semipurificado [2]. Este passa então através de uma série de finas bobinas de aquecimento num refinador de zonas [3]. Cada bobina funde uma pequena porção do conteúdo do cadinho, onde as impurezas se juntam. Quando o cadinho se desloca através das bobinas [4], as impurezas juntam-se numa das extremidades, que é cortada [5]. O produto final é um lingote de silício 99,99% puro [6].





A dopagem [20] transforma os dois canais de tipo p em silício de tipo n, que tem apenas carga negativa.

As ligações eléctricas são agora adicionadas ao circuito. Camadas de dióxido e de revestimento são novamente depositadas e efectua-se uma nova utilização da máscara [21]. A impressão por ataque químico cria canais para o silício de tipo n e para a porta [22]. Espalha-se então alumínio sobre a superfície [23]. As máscaras e a impressão química deixam três contactos de metal [24].

Podem criar-se até quinhentos circuitos integrados numa única wafer [D]. Cada um deles é testado e os circuitos integrados que funcionam são separados com uma serra de ponta de diamante e montados num invólucro de plástico [E].

- fotorresistor
- dióxido de silício
- polissilício
- silício de tipo n
- alumínio

Construção de circuitos integrados

A base de um chip é uma wafer de silício com um décimo de milímetro de espessura [12], dopada com minúsculos vestígios de boro. O circuito a criar é concebido como um modelo em grande escala, a partir do qual se fazem máscaras (à esquerda). Segue-se um processo complexo, acrescentando cada um dos milhões de transistores ao chip, camada a camada [C]. Primeiro, a base de silício é revestida com uma camada isoladora de dióxido de silício e por um material revestível à luz chamado fotorresistor. Este endurece apenas nos lugares onde incidem os raios ultravioleta projectados através de uma máscara [13]. A imersão do chip num solvente remove o revesti-

mento macio oculto pela máscara [14]. Os gases quentes arrastam grande parte do dióxido, deixando uma fina camada para isolamento [15], sendo o resto do revestimento removido [16].

Uma camada de polissilício condutor, que será a porta do transistor, é então depositada, bem como uma nova camada de revestimento. Efectua-se uma segunda exposição através de uma máscara [17]. Após lavagem com solvente, fica um padrão em forma de L [18]. A impressão por ataque químico remove o polissilício não protegido pelo revestimento, bem como uma fina camada de dióxido [19], pondo a descoberto dois canais da base de silício. O resto do revestimento é então removido, de modo que a porta se ergue acima dos canais.

Trabalhadores diligentes

Como os robôs manipulam e detectam o que os rodeia

O termo «robô», derivado da palavra checa *robot*, que significa «trabalho», foi inventado na década de 1920 pelo escritor Karel Capek. Mas os primeiros passos práticos da robótica só tiveram lugar na década de 1950, quando o «manipulador industrial estático» — uma forma primitiva de braço de robô — foi patenteado. Os seus sofisticados sucessores são hoje vulgares, realizando tarefas em processos de fabrico complexos. Têm-se desenvolvido outros que cortam relva, administram medicamentos e tosquam carneiros. Mas os robôs verdadeiramente inteligentes e independentes são ainda um sonho distante.

A visão que a ficção científica tem do andróide — um robô com forma humana — ainda não se tornou realidade. Todavia, grande parte dos robôs industriais actuais assemelham-se pelo menos a uma pequena parte da anatomia humana: o braço. Têm articulações que funcionam como cinturas, ombros, cotovelos e pulsos e uma mão que é uma *pinça terminal* que manipula instrumentos. A semelhança é enganadora porque os robôs têm capacidades claramente não humanas. São fortes — capazes de suportar pesadas cargas sem se cansarem — e também muito precisos, mesmo em tarefas repetitivas. Isto torna-os ideais para a realização das tarefas árduas e aborrecidas que muitos processos de produção implicam.

É o número de articulações móveis ou *graus de liberdade* que um robô tem que determina as suas capacidades. São necessários três graus para posicionar a pinça terminal em qualquer lado ao alcance do braço e outros três para a pinça terminal agarrar um objecto ou *peça de trabalho* a partir de qualquer direcção. Embo-

Força industrial

A produção de automóveis implica tarefas repetitivas que têm de ser realizadas com precisão e a alta velocidade, o que a torna ideal para os robôs. Muito mais fortes do que os trabalhadores humanos, os robôs pintam e instalam componentes, para além de efectuarem trabalhos de soldagem (à direita). Um braço de robô normal [A] roda em torno de várias articulações, impulsionadas por actuadores eléctricos [1], para se colocar em posição. Outra articulação da «mão» controla a pinça terminal. O robô é controlado por um computador [2], que é programado através de um módulo de ensino [3].

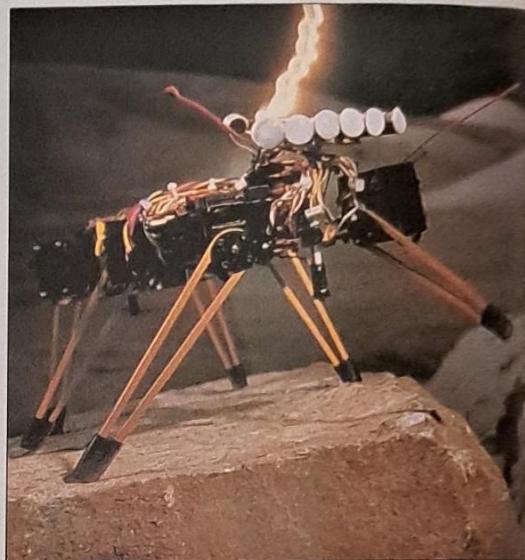
Normalmente, os robôs determinam a sua posição com codificadores incrementais [4]. Quando uma articulação roda, uma célula fotoeléctrica [5] emite um impulso de cada vez que uma linha de um disco passa por ela. Ao contar os impulsos, o computador «sabe» qual a posição da articulação em qualquer altura.

Pode utilizar-se o mesmo robô em diferentes tarefas mudando a sua pinça terminal. As

pinças de vácuo [6] têm um certo número de ventosas e são utilizadas para levantar e posicionar objectos de superfícies lisas, por exemplo pára-brisas de automóveis. A garra de dois dedos para uso geral [7] tem muitas vezes sensores nas extremidades, de modo a que os objectos não sejam esmagados. Os objectos frágeis têm de ser manipulados por uma pinça circular [8]. Esta é colocada à volta do objecto e um tubo de borracha enche-se de ar, agarrando-o com uma pressão uniforme.

Estupidez artificial (em cima)

Os investigadores americanos produziram vários insectos robôs capazes de procurarem um esconderijo na escuridão — uma tarefa simples designada por «estupidez artificial». Os futuros insectos robôs poderão ser utilizados na indústria para fazerem verificações e reparações em maquinaria inacessível de outro modo.



ra um robô necessite de seis graus (mais um sétimo — a abertura e fecho da pinça terminal) para imitar a versatilidade de um braço humano, cada articulação introduz uma certa folga, tornando o posicionamento correcto do braço mais difícil. É por esta razão, e para poupar despesas, que muitos robôs industriais têm apenas quatro ou cinco graus de liberdade.

Os braços têm de ser muito rígidos e, assim, tendem a ser muito pesados. Por isso, os motores que os movem têm de ser potentes mas capazes de funcionar com grande precisão. Os robôs mais pequenos utilizam por vezes motores escalonadores, que percorrem uma distância predefinida de cada vez que recebem um impulso eléctrico. Os braços maiores são demasiado pesados para funcionarem apenas a electricidade. Por isso utilizam motores e cilindros hidráulicos controlados por um computador central.

Sensores

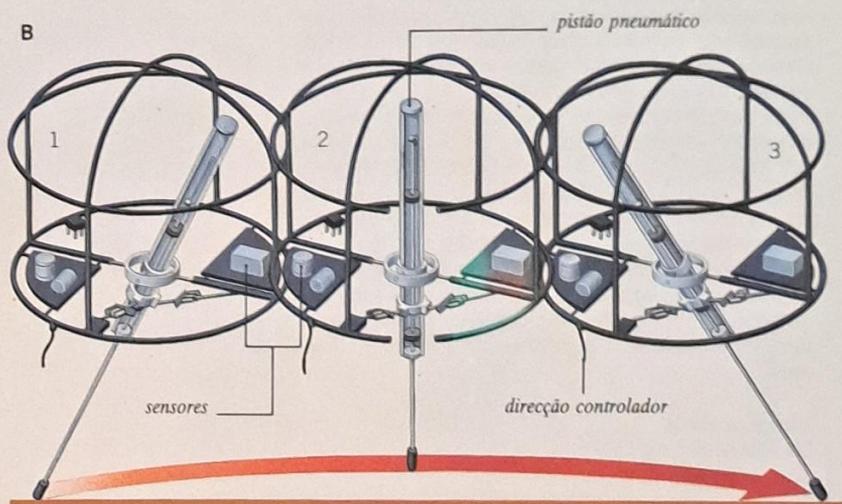
Para realizar as suas tarefas, um robô tem de recorrer a equivalentes de pelo menos alguns dos cinco sentidos. O tacto pode ser emulado por simples microinterruptores. Os seus contactos fecham-se mediante uma ligeira pressão, dando um sinal que pode dizer quando a pinça terminal está a agarrar uma peça de trabalho. Se estiver a ser utilizado um simples motor eléctrico para controlar o actuador, o contacto pode ser detectado de uma forma ainda mais simples, através do aumento da corrente utilizada quando a pinça terminal encontra resistência ao fechar. Os sensores de proximidade podem detectar objectos próximos sem terem de lhes tocar, por vezes pela simples geração de um campo electromagnético. Um objecto de metal nas proximidades altera o valor deste cam-

Saltitando

Um robô saltitante está constantemente a ficar desequilibrado e, por isso, é uma máquina difícil de controlar com êxito. Um modelo experimental [B] pode saltitar no mesmo sítio, para além de se deslocar em todas as direcções. Esta máquina, de um metro de altura, tem duas partes principais: um

corpo com válvulas, sensores e componentes electrónicos e um pé que lhe permite o movimento. Um cabo liga ambos a um computador próximo. A inclinação do corpo é medida por um giroscópio, enquanto os outros sensores medem o comprimento do pé, a sua posição em relação ao corpo e se está a tocar no chão. Quando a má-

quina começa a saltitar, os actuadores hidráulicos empurram o pé para a esquerda [1] e o corpo começa a inclinar-se para a direita. Um pistão, accionado por ar comprimido, impele o pé para fora do chão [2]. No ar, o pé retrai-se e dá uma volta para a direita para equilibrar a máquina ao aterrar [3].



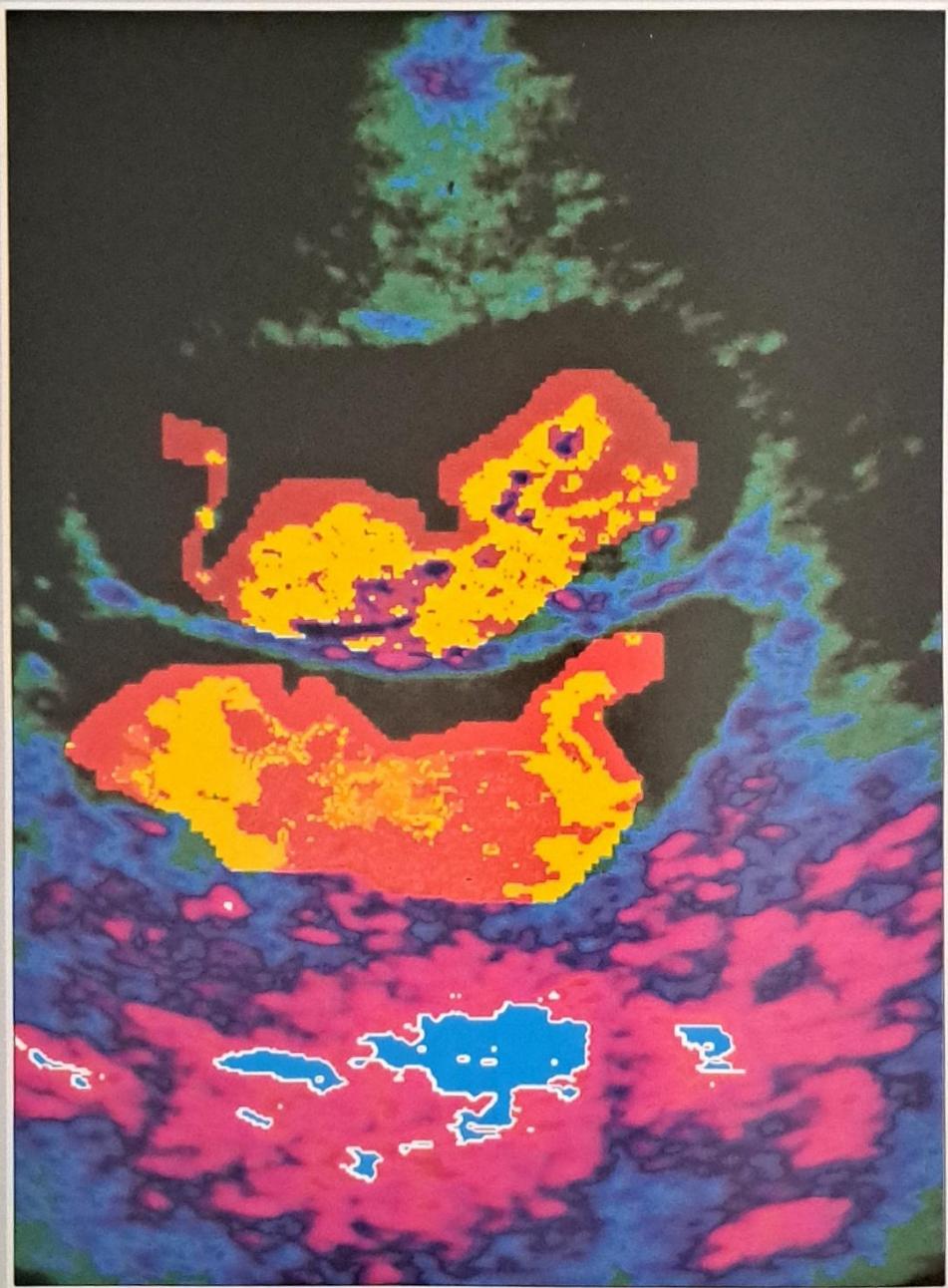
po e esta alteração pode ser utilizada para alertar o controlador do robô. Outros tipos controlam o padrão de uma luz reflectida ou o tempo que um impulso infravermelho demora a reflectir-se.

Atinge-se um grau de detecção muito mais sofisticado com sistemas de visão com base em câmaras de vídeo. A tarefa aparentemente simples de ser capaz de reconhecer objectos a partir de uma imagem de vídeo requer, de facto, uma grande capacidade de cálculo e complexos programas de *inteligência artificial*. Até já se desenvolveram dispositivos de olfacto e paladar — já existe um robô escanção —, muitas vezes dependentes da condutividade de certas substâncias.

Controlo remoto

Uma das maiores vantagens dos robôs é a sua capacidade de funcionarem em situações perigosas em que os seres humanos não o poderiam fazer ou pelo menos não por muito tempo. Na verdade, estes não são robôs, mas sim *teleoperadores*, porque não são controlados por um computador, mas emulam os movimentos de um controlador humano. Já existem máquinas de remoção de bombas e foram utilizados dispositivos semelhantes para eliminar a contaminação nuclear em Chernobyl. O desenvolvimento da tecnologia de realidade virtual e os aperfeiçoamentos na mecânica dos robôs podem eventualmente vir a permitir a realização de tarefas perigosas e intrincadas — até de operações cirúrgicas — a partir dos antípodas.





Uma ecografia colorida por computador mostra claramente a presença de gémeos no útero.

Mecânica molecular

Como se monta uma máquina a partir de átomos soltos

Em 1959, o eminente físico Richard Feynman lançou ao mundo o desafio de produzir um motor eléctrico que funcionasse e coubesse num cubo com lados de comprimento inferior a quatro décimos de milímetro. Menos de um ano depois, o prémio de mil dólares oferecido foi reclamado por uma máquina que produzia um milionésimo de um cavalo-vapor. Mas até esta proeza de miniaturização parece insignificante comparada com os motores modernos que têm dimensões mil vezes inferiores. A um nível menor, existem actualmente instrumentos que conseguem dispor átomos isolados de modo a formarem imagens e padrões.

Nas últimas décadas, as máquinas têm vindo a tornar-se cada vez mais pequenas. Graças ao *chip* de silício, um moderno computador portátil tem uma capacidade de processamento que anteriormente enchia toda uma sala. Tornou-se agora possível encolher ainda mais as máquinas. A *nanotecnologia*, engenharia à escala do nanómetro (bilionésima parte do metro), pode produzir máquinas montadas a partir de átomos isolados.

Estes mecanismos minúsculos podem ser abordados de duas maneiras diferentes. Uma alternativa — conhecida por arquitectura *ascendente* — começa à escala atómica e vai avançando para cima, enquanto a abordagem *descendente* se baseia no fabrico de versões cada vez mais pequenas de componentes existentes. Um exemplo desta última abordagem é a utilização de técnicas de fotografiação, desenvolvidas por fabricantes de *chips*, para a construção de motores eléctricos que são cem vezes mais pequenos do que a máquina que ganhou o prémio de Feynman. Mas este nível de miniaturização não é verdadeiramente nanotecnologia, mas sim microtecnologia, pois as máquinas têm micrómetros (milionésimos de metro) de comprimento.

Construir com átomos

A verdadeira nanotecnologia ascendente tem vindo a avançar de mãos dadas com a invenção de instrumentos que podem fornecer com fiabilidade imagens de átomos isolados. Trata-se do *microscópio de efeito de túnel* e do seu parente próximo, o *microscópio de força atómica*. Neste último, faz-se passar uma fina sonda metálica pela superfície duma amostra. Ao saltar sobre cada átomo da amostra, a sonda faz com que a trajectória de um feixe *laser* seja desviada. Este desvio é detectado, medido e convertido numa imagem tridimensional por meio de um computador.

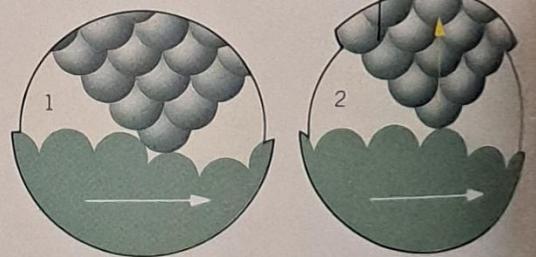
De notar que a sonda do microscópio de força atómica também pode ser utilizada para deslocar átomos e moléculas para novas configurações. Utilizando um microscópio de força atómica, os cientistas conseguiram escrever e desenhar padrões com átomos isolados, mas as mesmas técnicas podiam ter funções mais úteis, por exemplo a construção de sondas para fins medicinais e de computadores ultra-rápidos.

Os computadores normais baseiam-se nas propriedades de muitos milhares de electrões que se deslocam em simultâneo processando informação digital, enquanto nos nanocomputadores estes sinais são transmitidos pelo movimento de varetas de carbono com um átomo de espessura. Dado que os nanocomputadores podem ser mil vezes mais pequenos do que os circuitos integrados convencionais, o tempo que os sinais demoram a chegar ao seu destino é extremamente reduzido. Isto permite que se efectuem cálculos muito mais rapidamente, daí resultando um computador mais rápido e mais potente.

O toque suave

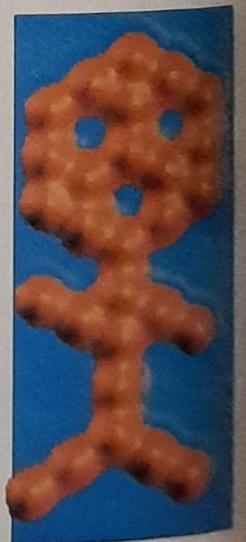
Tal como a agulha de um giradiscos é desviada para cima e para baixo pelas saliências existentes no sulco de um disco, o microscópio de força atómica [A] segue as irregularidades da superfície de uma amostra com uma sonda. A agulha deste microscópio é muito mais fina — estreitando na ponta até à largura de um único átomo — e exerce pressão para baixo com uma força um milhão de vezes menor do que a da agulha de giradiscos.

A agulha do microscópio de força atómica, por vezes uma minúscula lasca de diamante, está ligada a uma cantoneira de dióxido de silício fixa rigidamente na outra extremidade. A amostra desloca-se sob a agulha [1] e as saliências da sua superfície fazem com que a sonda se desloque para cima, desviando a cantoneira [2]. Isto faz com que um feixe laser seja reflectido sobre um sensor, cujo registo variável indica o movimento do feixe. Esta informação passa para um computador que, por sua vez, está ligado à placa sobre a qual a amostra é montada. Alguns cristais piezoeléctricos, que se contraem em



proporção a uma voltagem que os atravessa, deslocam a amostra nas três dimensões. Um deles controla o movimento vertical e é regulado de modo a que a agulha se mantenha a uma distância constante da amostra. Os outros dois cristais deslocam a amostra de um lado para outro de modo a que se possa traçar um mapa de toda a sua superfície. Os sinais são utilizados para construir uma imagem da superfície da amostra (inserção) que mostre os pormenores do tamanho de um átomo.

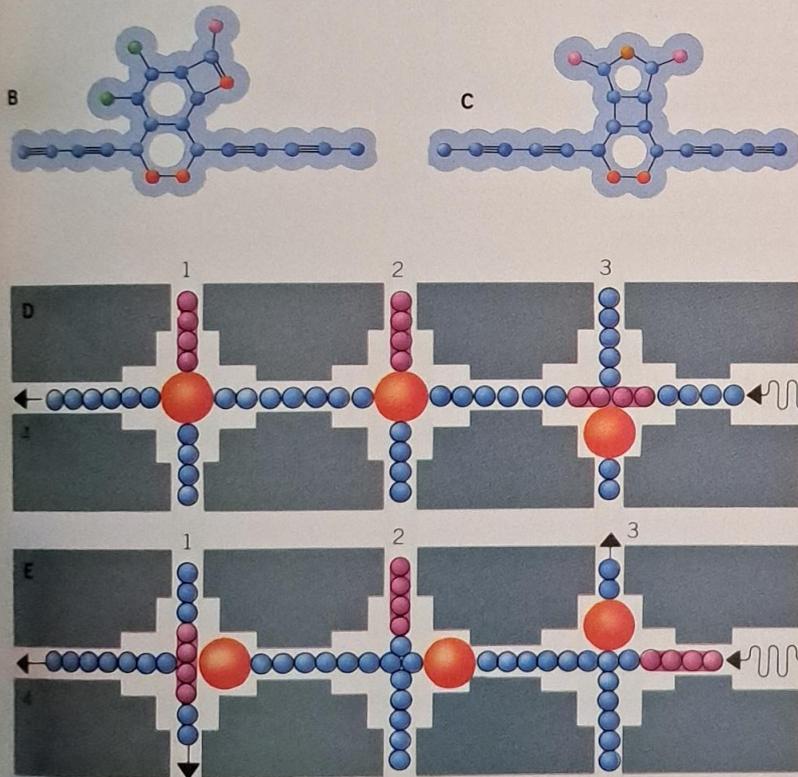
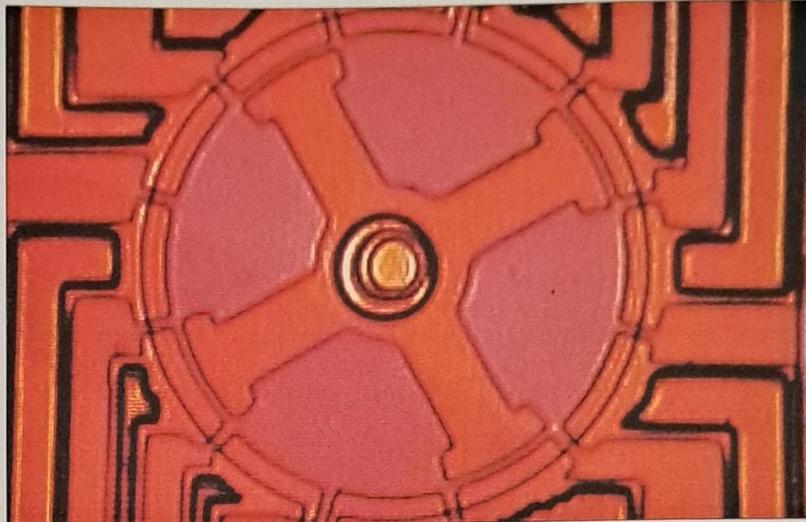
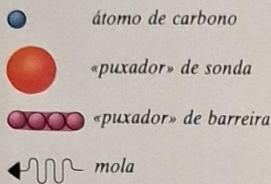
O microscópio de força atómica pode também ser utilizado para construir moléculas. Os átomos podem ser captados pela ponta da agulha e colocados em posições perfeitamente determinadas. O boneco (à direita) foi «desenhado» por meio desta técnica.



Micromotor

Constrói-se um circuito integrado de silício depositando camadas sobre um substrato de silício e submetendo-se em seguida algumas a ataque químico para se obter a forma pretendida. Podem fazer-se dispositivos mecânicos utilizando métodos semelhantes. A microfresagem de superfície é um método pelo qual se dispõe uma camada sacrificial de dióxido de silício sobre o substrato. Deposita-se por cima outra camada de material de trabalho que é sujeito a ataque químico até se obter a forma desejada. Em seguida, um outro produto cáustico dissolve por completo a camada sacrificial, deixando para trás a microestrutura resultante, livremente suspensa. Esta é a técnica utilizada na produção de mi-

núsculos acelerómetros que detectam colisões de automóveis e enchem airbags. Este minúsculo micromotor (à direita) foi construído utilizando o processo LIGA, em que se utilizam raios X para provocar a corrosão do silício. O seu minúsculo rotor, com aproximadamente um décimo de milímetro de diâmetro, é acelerado por forças electrostáticas que podem atingir mais de 20 000 rpm.



Nanoporta NAND

Uma porta NAND é um dispositivo lógico que compara duas entradas que podem estar «ligadas» ou «desligadas». Só origina uma saída «ligada» se ambas as entradas estiverem «desligadas». Um modelo especulativo poderia utilizar varetas de carbono de um átomo de espessura. Devido à sua dimensão molecular, a porta funcionaria a alta

velocidade, como parte de um computador ultra-rápido. Cada vareta pode deslizar para uma de duas posições, «ligada» e «desligada», e está equipada com «puxadores» de dois tipos — sondas [B] e barreiras [C] —, cada um deles formado por compostos diferentes. A porta é constituída por quatro varetas. A [1] e a [2] são as entradas, a [3] a saída e a [4] a

vareta de «teste». Quando as barreiras [1] e [2] estão «desligadas» (a condição NAND), a vareta [4] pode deslizar para a esquerda, bloqueando a [3], de modo a esta dar a indicação de «ligado» [D]. Se se fizer deslizar a [1] para baixo, esta bloqueia o movimento da [4] de modo a que a [3] se possa deslocar para cima, indicando «desligado» [E].

Indústrias em miniatura

A nanotecnologia tem muitas outras aplicações possíveis, embora quase todas não tenham ainda passado da fase de projecto. Entre elas contam-se os motores eléctricos em miniatura que giram sobre uma almofada de ar, evitando assim as perdas por atrito, e os rolamentos de esferas de atrito extremamente reduzido. Estes últimos poderiam ser produzidos a partir de dois anéis concêntricos de diamante artificial, revestidos de camadas de flúor, com apenas dezenas de átomos de largura. O rolamento manter-se-ia centrado pelo equilíbrio das forças de Van der Waals, que atraem os átomos a curta distância.

As nanomáquinas que absorvem a poluição da atmosfera poderiam limpar o ambiente e talvez até inverter o efeito de estufa. Num futuro distante, a mesma tecnologia poderá ser utilizada para alterar as atmosferas de outros planetas para os tornar propícios à vida terrestre — processo conhecido por *terraformação*.

O avanço mais significativo de todos será talvez o da tecnologia da informação. A capacidade de «escrever» em átomos isolados afectará radicalmente o armazenamento da informação. A presença ou ausência de átomos isolados poderia ser utilizada para codificar informação binária. Sob essa forma, todas as bibliotecas do mundo poderiam ser armazenadas em alguns discos do tamanho de CD. A tecnologia para codificação e leitura de informação à escala do nanómetro e a alta velocidade ainda não existe, mas está a ser desenvolvida.

Micromedicina

Outro papel possível para a miniaturização está no tratamento médico. Os tecnólogos já criaram sensores que conseguem medir a tensão arterial no interior de uma artéria. As técnicas de *cirurgia por endoscopia* existentes e todo um arsenal de bisturis em miniatura e de raios *laser* permitem a um cirurgião efectuar operações através de uma incisão de apenas 2 mm de largura. Mas no futuro talvez seja possível construir robôs minúsculos, com o tamanho de uma pequena bactéria, que poderiam ser injectados no corpo, onde destruiriam directamente os organismos indesejáveis e a acumulação de gordura nas artérias.

Imagens para diagnóstico

Como se utiliza a radiação para ver o interior do corpo

Os raios X — ondas electromagnéticas com uma extraordinária capacidade de penetrar na matéria — foram descobertos há mais de 100 anos pelo físico alemão Wilhelm Röntgen. Semanas mais tarde já estavam a ser utilizados pelos médicos para fotografar ossos e localizar balas em feridas. Actualmente continuam a ser um instrumento de diagnóstico fundamental, que fornece imagens pormenorizadas de ossos, de tecidos moles, do fluxo sanguíneo e da actividade cerebral. E com o advento dos detectores digitais e dos exames tridimensionais talvez não falte muito para que os médicos possam examinar hologramas dos órgãos internos de um doente.

Os raios X são ondas de alta energia, que se situam entre os raios ultravioleta e gama no espectro electromagnético. São produzidos num tubo de vácuo, em que a elevada voltagem (entre 40 e 150 kV) acelera os electrões até cerca de metade da velocidade da luz. Os electrões a alta velocidade são conduzidos para um alvo metálico e, na colisão daí resultante, a sua energia é convertida em radiação de alta frequência, ou raios X.

Durante um exame, um fluxo de raios X é enviado em direcção ao corpo do doente. As ondas penetram até uma profundidade que depende do número atómico e da densidade do tecido: uma parte passa logo através do corpo e atinge um detector — normalmente uma chapa de película —, formando uma imagem, ou radiografia, que é uma sombra das partes densas do corpo. As estruturas sólidas, por exemplo os ossos, vêem-se bem neste tipo de exame simples, mas os pormenores dos tecidos moles só podem ter resolução com técnicas mais sensíveis. Uma dessas técnicas — a *xerorradiografia* — baseia-se no mesmo princípio que as fotocopiadoras e utiliza-se muitas vezes nos exames da mama. O detector não é uma película mas sim uma placa de alumínio revestida de uma fina camada do semicondutor selénio. Antes de ser exposta aos raios X que passam através dos tecidos, fornece-se à placa uma carga eléctrica positiva. Onde quer que os raios X atinjam a placa, cancelam pequenas zonas da sua carga positiva, formando assim uma *imagem latente* electrostática. Salpica-se a placa com partículas de *toner* de carga negativa, que ficam agarradas às áreas residuais de carga positiva, produzindo uma imagem visível que pode ser transferida para uma folha de papel.

Imagens em movimento

As técnicas acima referidas produzem apenas instantâneos estáticos do corpo. Mas, quando conjugados com *intensificadores de imagem*, os raios X proporcionam imagens em *tempo real* que podem ser observadas de modo contínuo durante uma operação cirúrgica. Num intensificador de imagem, o detector de raios X é um ecrã de fósforo. Quando atingido por raios X, este ecrã emite fotões luminosos. Uma camada fotossensível adjacente converte de imediato esta luz ténue em electrões, que são, por sua vez, acelerados até uma voltagem elevada e focados sobre um segundo ecrã de fósforo, mais pequeno, produzindo uma imagem nítida que pode ser vista através de uma câmara de televisão ou digitalizada para uma análise mais aprofundada.

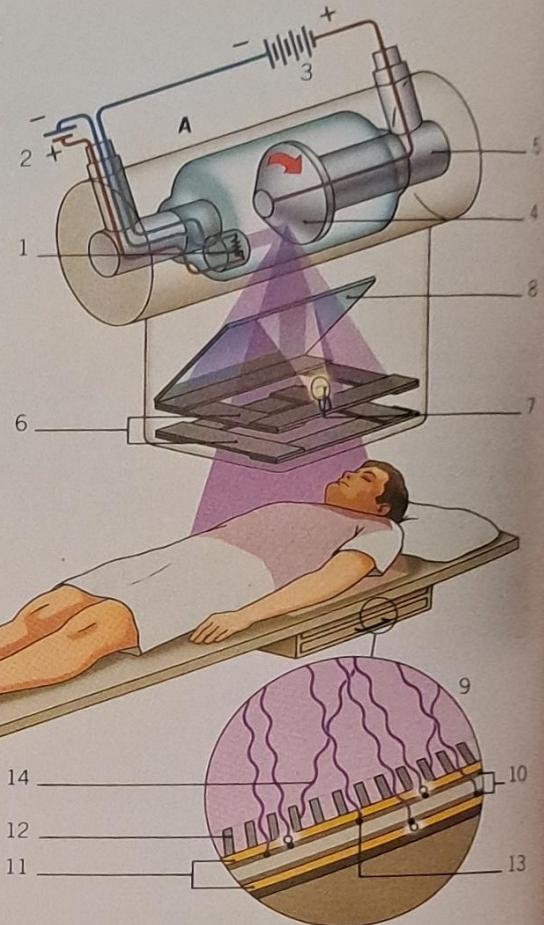
A manipulação de imagens digitalizadas por computador permite a utilização dos raios X de novas maneiras. Na *angiografia de subtração digital*, tira-se uma radiografia de um vaso sanguíneo principal, radiografia esta que é repetida depois de se ter injectado na circulação sanguínea uma tinta opaca aos raios X. A primeira imagem é subtraída digitalmente da segunda, dando origem a um

Perigo para a saúde

Os raios X são uma forma de radiação ionizante e, por isso, são prejudiciais, sobretudo para as células em divisão. Tem de se ter cuidado para minimizar a exposição dos doentes durante um exame por raios X.

Registo de uma radiografia

Um tubo de raios X [A] compreende um invólucro de vidro sem ar, no interior do qual um filamento de tungsténio enrolado em espiral (o cátodo) [1] funciona como fonte de electrões. Uma voltagem baixa [2] aquece o filamento, fazendo com que os electrões se «evaporem» da sua superfície. Estes são focados e acelerados até uma velocidade elevada por uma grande voltagem [3] entre o alvo (ânodo) [4] e o cátodo. Os electrões colidem com o ânodo de tungsténio, produzindo raios X e calor como subpro-



to. Para evitar que o calor aumente, um motor [5] faz girar o alvo até 3000 rpm: para além disso, uma camada de óleo à volta do tubo ajuda a dissipar o calor.

Os raios X emergem através de uma abertura no tubo. Antes de atingirem o doente, passam por várias aberturas ajustáveis [6], que limitam a dimensão

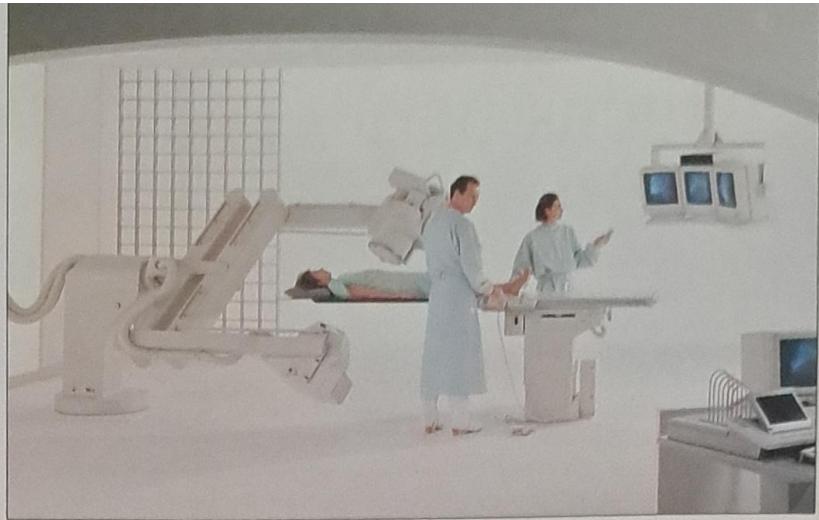
contorno nítido do fluxo de sangue que vai, por exemplo, para o cérebro ou para os rins.

As radiografias simples são muitas vezes difíceis de interpretar porque a imagem que se forma é, na realidade, uma imagem de um certo número de estruturas internas sobrepostas umas às outras. Para separar estas estruturas utiliza-se uma técnica conhecida por *tomografia computadorizada*. Faz-se passar um feixe de raios X através de uma finíssima secção do corpo, feixe esse que é detectado, quando emerge, por um conjunto de detectores. Em seguida faz-se rodar o feixe à volta do corpo e efectua-se outra exposição. Repete-se esta operação até que a mesma secção tenha sido observada de todos os ângulos. Utilizando um método matemático conhecido por *retroprojeção*, um computador reconstrói uma imagem da secção. Podem «empilhar-se» muitas secções no ecrã, formando uma imagem tridimensional dos órgãos internos de um doente.



Tomografia computadorizada (à esquerda)

A tomografia computadorizada é uma técnica extremamente sensível que permite a um radiologista tirar fotografias de «secções» do corpo. Através da tomografia computadorizada é possível verem-se diferenças muito pequenas na densidade dos tecidos — por exemplo, a que existe



Medicina de alta tecnologia (em cima)

Os intensificadores electrónicos de imagem permitem a utilização dos raios X em doses extremamente baixas. Isto significa que o doente pode ser exposto com segurança a esta radiação durante uma operação cirúrgica, o que permite que os médicos disponham de imagens internas em tempo real apresentadas em ecrãs situados por cima da mesa de operações.

- electrão
- positrão
- átomo de carbono
- átomo de oxigénio
- flúor radioactivo
- raios gama

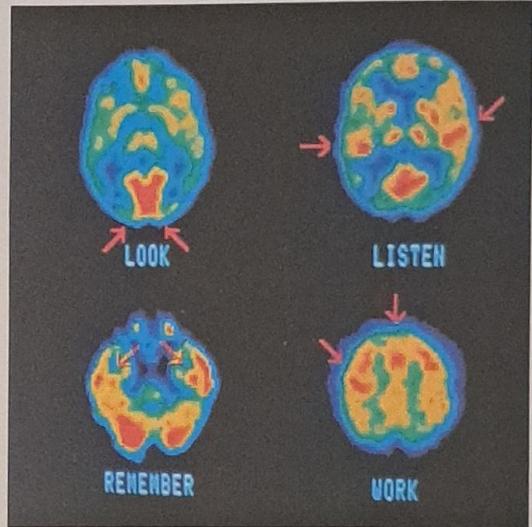
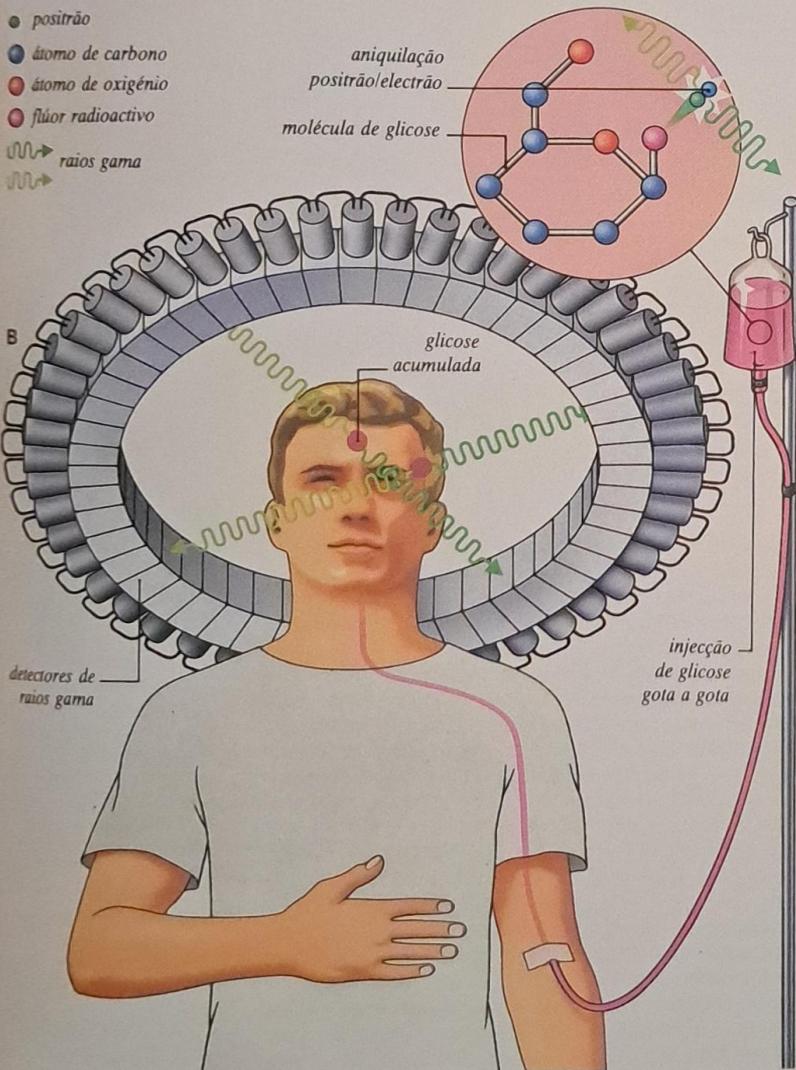
aniquilação positrão/electrão

molécula de glicose

glicose acumulada

detectores de raios gama

injecção de glicose gota a gota



Tomografias por emissão de positrões

A tomografia por emissão de positrões (B) é uma forma de medicina nuclear em que pequenas quantidades de material radioactivo são introduzidas no corpo como instrumento de diagnóstico. Utiliza-se muitas vezes a tomografia por emissão de positrões para examinar o cérebro porque pode mostrar o seu funcionamento em vez de expor simplesmente a sua estrutura.

Fornece-se «combustível», sob a forma de glicose, às zonas activas do cérebro. Na tomografia por emissão de positrões, as moléculas de glicose são «etiquetadas» com átomos de flúor radioactivo. Ao decompor-se, o flúor emite uma partícula subatómica chamada positrão. Quase de imediato,

esta encontra a sua antipartícula, um electrão. Quando os dois se encontram, aniquilam-se, originando dois raios gama que se deslocam em direcções exactamente opostas. Esta dupla emissão é a chave da tomografia por emissão de positrões.

Fornece-se glicose etiquetada à circulação sanguínea do doente gota a gota: esta glicose acumula-se nas partes activas do cérebro. Um anel de detectores colocado à volta da cabeça detecta os raios gama que saem do doente e um computador «procura» os raios gama que chegam simultaneamente a dois detectores opostos. Estes dados são sintetizados em imagens que mostram as partes do cérebro que utilizam mais combustível — os centros de actividade associados ao pensamento (em cima).

Semicondutores

Materiais com propriedades eléctricas especiais

Algumas substâncias, sobretudo metais, são boas condutoras de electricidade. Outras, como a borracha, não transportam qualquer corrente eléctrica, sendo, assim, isoladores ideais. Um pequeno número de elementos e de compostos — os *semicondutores* — têm propriedades que estão entre estes dois extremos. Um semicondutor, como o silício, tem uma capacidade de transporte de corrente que é profundamente alterada por uma mudança da temperatura ou da quantidade de luz que incide sobre ele. Estas propriedades podem ser ainda mais alteradas pela difusão de minúsculas quantidades de outros elementos na sua estrutura cristalina, para construir dispositivos como os diodos, os transístores ou os condensadores — as peças fundamentais dos computadores e de todos os outros dispositivos electrónicos.

Faixas de energia

O silício, o germânio e os compostos cristalinos como o sulfureto de cádmio são materiais semicondutores. Os núcleos dos seus átomos estão rodeados de electrões que podem ocupar apenas certos níveis energéticos. A baixa temperatura, os electrões juntam-se na *faixa de valência* — conjunto de níveis energéticos que estão associados a átomos isolados. Os electrões desta banda deslocam-se de átomo para átomo, processo pelo qual uma corrente eléctrica é transportada, por isso estes materiais, quando frios, funcionam como isoladores.

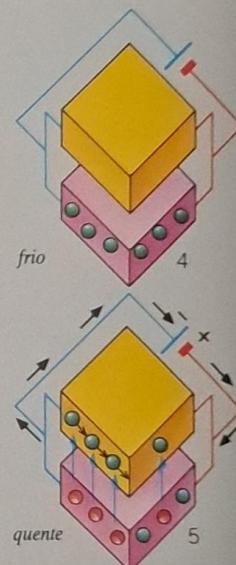
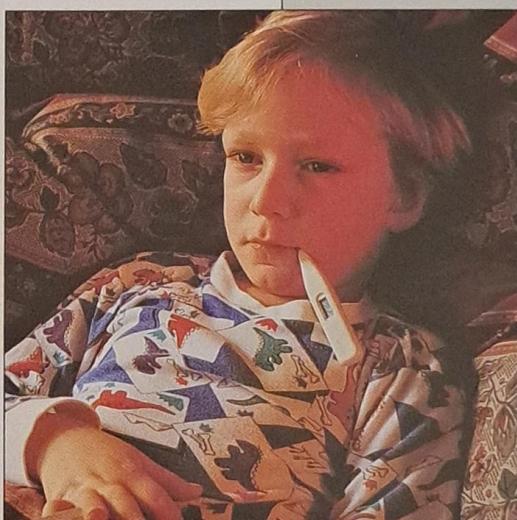
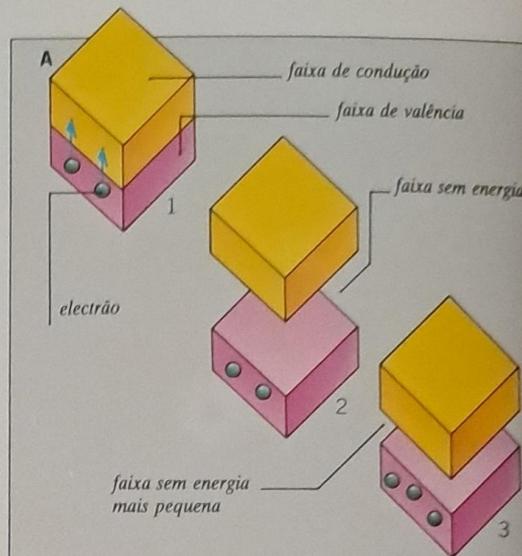
Mas a propriedade especial dos semicondutores é que têm apenas uma pequena faixa sem energia entre a faixa de valência e a *faixa de condução* — um outro conjunto de níveis em que os electrões se podem deslocar livremente. À medida que um semicondutor é aquecido, são cada vez mais os electrões que têm energia suficiente para saltarem para a faixa de condução. O semicondutor começa a conduzir electricidade — fazendo da condutividade uma medida da sua temperatura.

Lacunas móveis

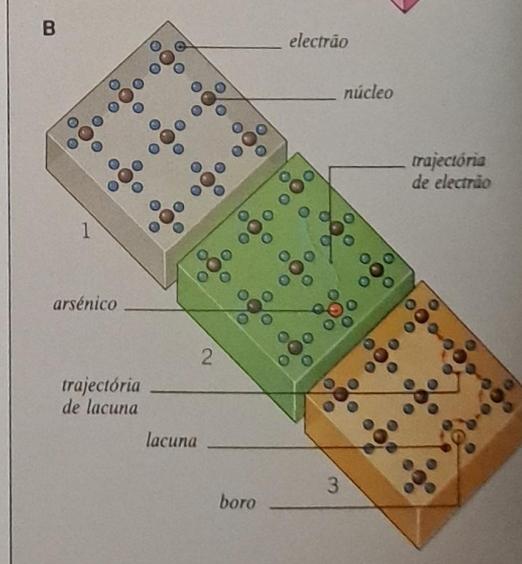
Quando um electrão num semicondutor aquecido salta para a faixa de condução, deixa para trás um espaço vazio, ou *lacuna*, na faixa de valência. Um electrão da faixa de valência de um átomo vizinho pode deslocar-se e preencher esta lacuna, mas deixa, por seu turno, outra lacuna. Pode, portanto, conceber-se uma corrente eléctrica a passar através de um semicondutor como o fluxo de electrões negativos numa direcção ou como o fluxo de lacunas positivas na outra.

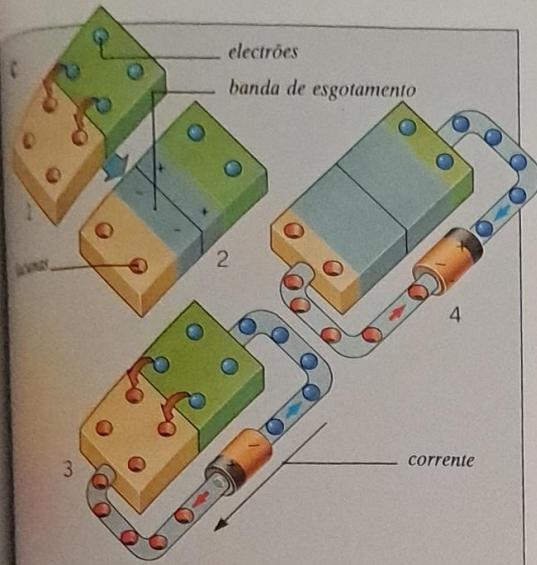
Num semicondutor frio, não existem electrões livres ou lacunas disponíveis para transportar corrente. Mas esta situação pode ser alterada se o semicondutor for *dopado*, isto é, se for salpicado com alguns átomos de outro elemento. Se este elemento (o dopante) tiver electrões «extra» na sua faixa de valência, estes ficam livres e podem deslocar-se pelo semicondutor. Se, pelo contrário, o dopante tiver um défice de electrões de valência, são introduzidas lacunas portadoras de carga no material.

Os electrões da *faixa de valência* de um átomo estão estreitamente ligados a esse átomo [A]. Mas, uma vez que passem para a faixa de condução, podem deslocar-se livremente de um átomo para outro e transportar corrente eléctrica. Nos metais [1], as duas faixas sobrepõem-se parcialmente, fazendo destes materiais bons condutores. Nos isoladores [2], as duas faixas estão separadas por um largo espaço sem energia. Nos semicondutores [3], a faixa sem energia é menor. A baixas temperaturas [4], os electrões permanecem na faixa de valência. Mas sob a acção do calor saltam para a faixa de condução e a corrente já pode passar [5]. Um termómetro electrónico (em baixo) utiliza esta propriedade para medir temperaturas.

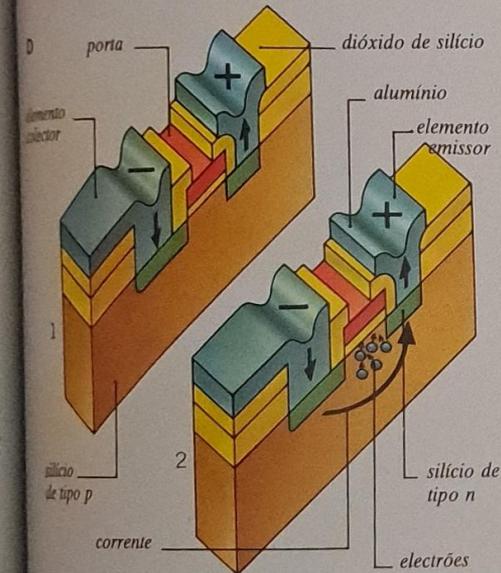


Um átomo de silício tem quatro electrões na sua faixa de valência [B]. Um cristal de silício puro é uma rede reticular destes átomos [1]. Quando um cristal é dopado com arsénico, alguns átomos de silício são substituídos por átomos de arsénico, que têm cinco electrões de valência. O electrão «extra» desloca-se para a faixa de condução e pode transportar corrente. Estes semicondutores dopados chamam-se de tipo n [2]. Se um cristal foi dopado com boro, que tem três electrões de valência, introduzem-se lacunas no cristal. Estas podem «saltar» de átomo para átomo, transportando corrente. Os semicondutores dopados desta maneira são de tipo p [3].



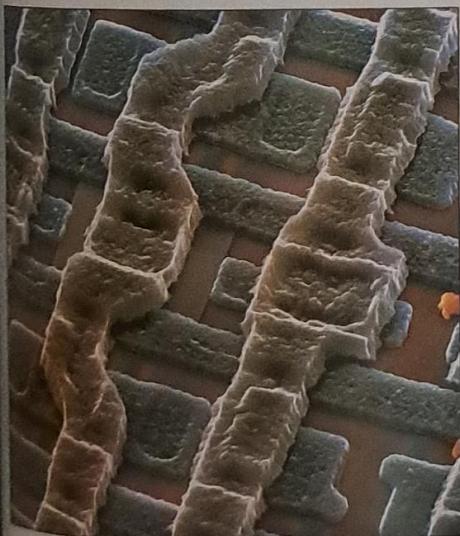


Quando se põem em contacto blocos de semicondutores de tipo p e de tipo n [C], os electrões livres nos de tipo n saltam para «preencher» as lacunas positivas nos de tipo p [1]. Dal resulta uma banda de esgotamento [2] que bloqueia a passagem de corrente. Se se ligar o terminal positivo de uma bateria — na realidade, uma fonte de lacunas — ao bloco de tipo p, permite-se que as lacunas sejam preenchidas logo que começam a ser ocupadas por electrões [3]. Ao mesmo tempo, os electrões do terminal negativo tomam o lugar dos electrões perdidos do tipo n e a corrente passa. Se se voltar a bateria ao contrário, inverte-se o fluxo de corrente, aumenta-se a zona de esgotamento e a corrente passa [4].



Um chip de silício contém muitos milhares de transistores de efeito de campo [D], que funcionam como minúsculos interruptores electrónicos. Cada um tem três terminais de alumínio. Dois ligam-se ao elemento colector e ao elemento emissor, ilhas de silício de tipo n num substrato de tipo p. Dióxido de silício isolador separa-os da terceira ligação, a porta. De facto, a trajectória desde a fonte até ao elemento emissor passa por dois díodos que impedem a corrente de passar [1]. Mas uma voltagem positiva na porta [2] atrai electrões para a zona entre o elemento colector e o elemento emissor. Dado que o percurso é agora efectivamente de tipo n ao longo de todo o trajecto, a corrente pode passar.

Uma imagem muito ampliada de um microprocessador (à esquerda) revela os transistores existentes na sua superfície. Em apenas alguns anos, os chips passaram de unidades contendo centenas de dispositivos para circuitos constituídos por milhares de transistores. Convencionalmente, utilizam-se raios ultravioleta para colocar componentes na superfície de um chip. Mas os pormenores não podem ser mais pequenos do que o comprimento de onda da luz, estabelecendo um limite de tamanho e de densidade dos componentes. A utilização de raios X de menor comprimento de onda para criar os elementos permite que se coloquem ainda mais componentes, permitindo a construção de chips, e portanto de computadores, mais rápidos.



Díodos

Amostras isoladas tanto de materiais de tipo p como de tipo n podem transportar correntes eléctricas. Mas, quando se põem os tipos p e n em contacto, surgem interessantes — e úteis — propriedades. O dispositivo mais simples feito desta maneira é o *díodo*, que é uma única junção n-p. Se se ligar uma bateria num sentido à volta desta junção, faz-se com que os portadores de corrente — lacunas (no tipo p) e electrões (no tipo n) — sejam afastados da zona de junção. Esta funciona agora como isolador e impede a passagem de qualquer corrente.

Quando se trocam os terminais da bateria, a corrente já pode passar porque os portadores de corrente são constantemente substituídos nas extremidades enquanto se anulam mutuamente na junção. Esta capacidade de conduzir uma corrente apenas num sentido é utilizada nos *rectificadores*, em que uma corrente alterna (cujo sentido está em permanente mudança) passa através de um anel de díodos. O resultado é uma corrente directa, que flui apenas num sentido.

Transistores

Os díodos são constituídos por duas camadas de semicondutor com dopagens diferentes, cada uma delas ligada a um terminal, ou contacto eléctrico exterior. Os transistores têm uma terceira camada de semicondutor e, portanto, três terminais. A trajectória entre dois dos terminais pode ser concebida como uma espécie de resistência eléctrica. O valor desta resistência — e, conseqüentemente, da corrente que passa — varia quando se aplica uma diferença de potencial no terceiro terminal, o central.

Este comportamento faz com que se possa utilizar um transistor de duas maneiras importantes. Uma voltagem no terminal central pode fazer ligar ou desligar uma corrente entre os outros dois. Este efeito é a base de todos os computadores digitais. Podem utilizar-se transistores maiores como amplificadores. A corrente de fraca intensidade que sai de um microfone pode ser transmitida a um eléctrodo central. As suas flutuações produzem alterações correspondentes numa corrente muito mais intensa que passa entre os outros dois terminais.

Miniaturização

A utilização de semicondutores revolucionou a vida moderna. O primeiro transistor foi construído em 1948. Passados apenas alguns anos, os transistores tinham já passado a desempenhar o papel dos tubos de vácuo, dispositivos mais antigos que eram volumosos e produziam um calor considerável. Os transistores começaram por ser fabricados individualmente, mas em breve passaram a ser produzidos às centenas em *circuitos integrados*, mais conhecidos por *chips*. Outros componentes, como as resistências e os condensadores, também podiam ser produzidos no *chip*, formando um *microprocessador* que contém todos os circuitos necessários a um computador completo.

Os modelos de *chips* mais recentes conseguem conter cada vez mais componentes em dimensões cada vez menores. O grande número — mais de um milhão de transistores separados — significa que os *chips* consomem hoje quantidades razoavelmente grandes de electricidade. Esta é inevitavelmente convertida em calor. É por esta razão que os computadores contêm ventoinhas de arrefecimento que retiram o calor, protegendo, assim, os *chips*.

Sistemas electrónicos

Alguns dispositivos eléctricos básicos

Ao cair da noite, os candeeiros das ruas das cidades acendem-se. Apesar das mudanças de tempo e da duração do dia provocadas pelas estações, parecem «saber» exactamente qual o momento exacto para se acenderem. Isto deve-se ao facto de estarem equipados com um sensor luminoso na sua superfície superior. Este é feito de uma peça de semiconductor — o mesmo material de que são feitos os transístores e os *microchips*. O sensor explora uma propriedade muito útil do semiconductor, que perde resistência quando a intensidade da luz que incide sobre ele aumenta. Combinado com algumas peças básicas — transístores, resistências eléctricas, condensadores —, o sensor transforma-se num dos muitos dispositivos electrónicos que tornam a vida mais prática, mas que passam também muitas vezes despercebidos.

Ver a luz

As câmaras fotográficas automáticas utilizam sensores luminosos para medirem a luminosidade de uma cena e seleccionam a abertura e a velocidade do obturador apropriadas. Estes sensores são feitos de um material *semiconductor* chamado arsenieto de gálio (GaAs). Quando iluminado, o GaAs altera a sua resistência regulando, portanto, a quantidade de corrente que passa num circuito de controlo. Esse sensor luminoso chama-se *resistência fotodependente* (LDR).

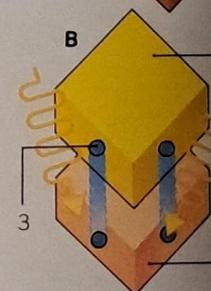
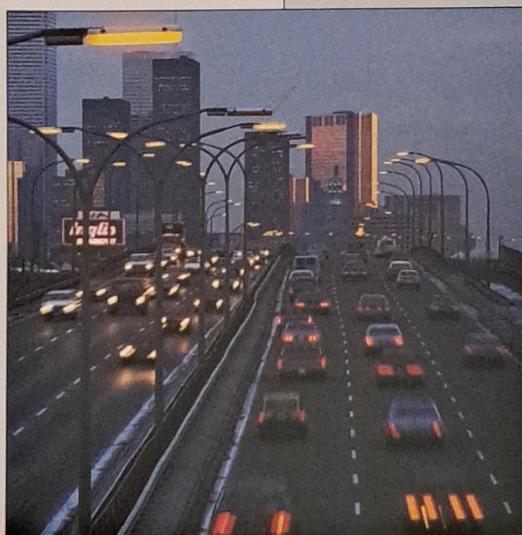
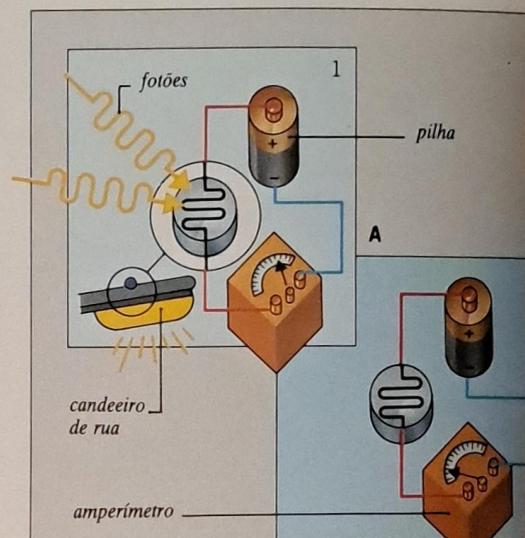
Um segundo tipo de sensor semiconductor é o *fotodiodo*. Tal como um diodo normal, é uma junção de dois tipos de material semiconductor diferentes, chamados tipo p e tipo n. No escuro, o fotodiodo conduz electricidade apenas num sentido. Mas, quando a luz incide sobre a junção entre os dois semicondutores, o seu comportamento altera-se e pode transportar corrente nos dois sentidos. A luz pode, assim, ser detectada como um súbito aumento de fluxo de corrente «no sentido errado» através de um fotodiodo num circuito de controlo.

Amplificadores simples

Os transístores têm muitas aplicações úteis. Podem ser utilizados como disjuntores electrónicos e também como amplificadores, convertendo minúsculos sinais em correntes muito mais intensas. Mas, quando é utilizado como amplificador, um transistor nem sempre é exacto. Em termos técnicos, a sua resposta não é *linear*. Se a intensidade da voltagem de entrada for representada num gráfico relativamente à voltagem de saída, o resultado é uma curva, e não uma linha recta, que indica que as maiores diferenças de potencial à entrada são mais intensificadas do que as menores, o que provoca *distorção*.

Evita-se a distorção utilizando um circuito integrado simples chamado *amplificador operacional*. Embora este componente vulgar tenha oito pinos de ligação externos, apenas cinco são realmente utilizados. Dois são para as entradas, um para a saída e os restantes dois para a fonte de energia. Para entradas entre $-0,15$ e $+0,15$ mV, ele amplifica linearmente, sendo a sua saída uma cópia fiel, mas aumentada, da entrada.

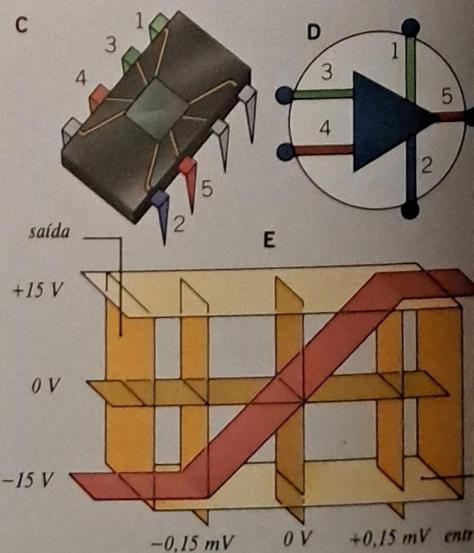
Uma *resistência fotodependente*, ou LDR [A], de um candeeiro de rua é uma fatia do semiconductor arsenieto de gálio, cuja resistência depende da quantidade de luz incidente. Quando é atingida pela luz, alguns dos electrões do semiconductor são promovidos a um nível energético mais elevado (chamado *faixa de condução*), onde podem deslocar-se livremente e transportar corrente. A resistência variável da LDR pode ser representada por um circuito simples. Quando iluminada [1], a resistência da LDR é baixa e uma corrente intensa passa através do circuito. No escuro [2], a sua resistência aumenta e a corrente que passa é muito menor.

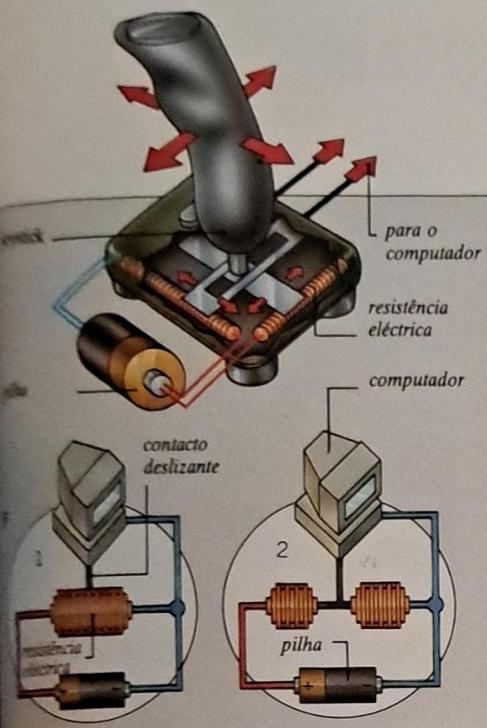


Quando a luz incide sobre uma LDR [B], os fótons colidem com os electrões na faixa de valência de baixa energia do semiconductor [1]. Os electrões [3] adquirem energia suficiente para saltarem para a faixa de condução de energia superior [2]. As LDR são, no fundo, sensores que ligam as luzes da rua ao anoitecer (à esquerda).

O *invólucro de plástico negro* de um amplificador operacional [C] esconde um circuito que pode converter uma pequeníssima entrada numa cópia 100 000 vezes mais intensa. Utiliza apenas 5 das suas 8 pernas, que são as fontes de energia positiva e negativa [1, 2], as duas entradas [3, 4] e a saída [5]. Este componente é representado por um símbolo normalizado [D].

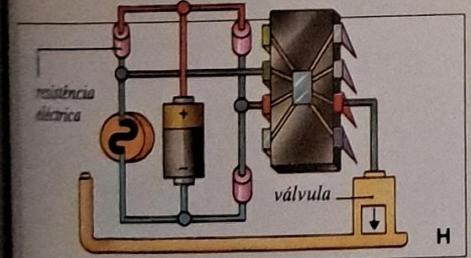
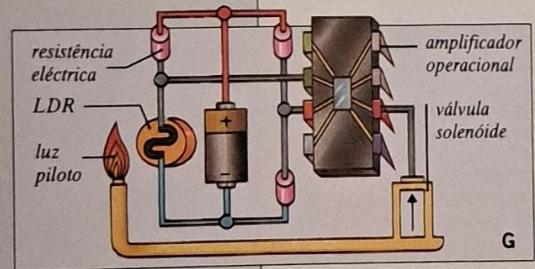
Este gráfico [E] mostra que para valores de entrada entre $-0,15$ e $+0,15$ mV o amplificador operacional se comporta de modo linear. Mas acima e abaixo destes valores o amplificador satura-se — não consegue amplificar o sinal acima das voltagens de saída máximas possíveis de $+15$ e -15 V.





O joystick é essencial para muitos jogos de computador [F]. No seu interior encontram-se duas resistências perpendiculares uma à outra. As suas extremidades estão ligadas aos terminais de uma pilha. Quando se move o joystick, este reposiciona contactos deslizantes em cada uma das bobinas. Como uma extremidade de cada bobina tem 1,5 V (a voltagem da pilha) e a outra 0 V, o contacto capta uma voltagem entre estes valores, que são transmitidos a um computador que traduz as voltagens em dados posicionais. Na realidade, o contacto funciona como um divisor de voltagem, cortando uma resistência eléctrica única [1] em duas mais pequenas [2] e anulando a voltagem na sua junção.

Um sensor de luz piloto é um dispositivo de segurança que controla uma válvula solenóide. A válvula é um dispositivo eletromagnético capaz de ligar ou desligar um fluxo de gás. A válvula solenóide é activada apenas pela voltagem relativamente elevada de 15 V. A presença ou ausência de chama é detectada por uma LDR



que funciona como parte de um potenciómetro. Quando a LDR está iluminada, uma pequena voltagem positiva passa para um amplificador operacional [G], onde é amplificada até atingir um valor suficiente para manter a válvula aberta. Se a luz se apagar [H], a voltagem que entra no amplificador operacional torna-se negativa, fechando a válvula.

Volts em queda

O controlo de volume de um aparelho de rádio é uma resistência variável conectada para funcionar como potenciómetro. Contém uma tira de carvão que tem uma resistência eléctrica elevada. Pode fazer-se deslocar um contacto metálico deslizante para qualquer ponto ao longo da tira rodando o manipulo de controlo de volume. Se cada extremidade da tira estiver ligada aos terminais de uma pilha de 1,5 V, uma extremidade tem um potencial eléctrico de 1,5 V e a outra um potencial de 0 V. Os pontos intermédios têm potenciais, ou voltagens, intermédios. Se se fizer deslocar o contacto deslizante ao longo da tira, permite-se o «aproveitamento» de voltagens diferentes que vão para os circuitos amplificadores do rádio, determinando o grau de amplificação e, portanto, o volume.

Os potenciómetros encontram-se em muitos dispositivos diferentes. Uma mesa de mistura de um estúdio de gravação de som pode conter quase mil, ajustando cada um deles um aspecto diferente do som.

Circuitos de segurança

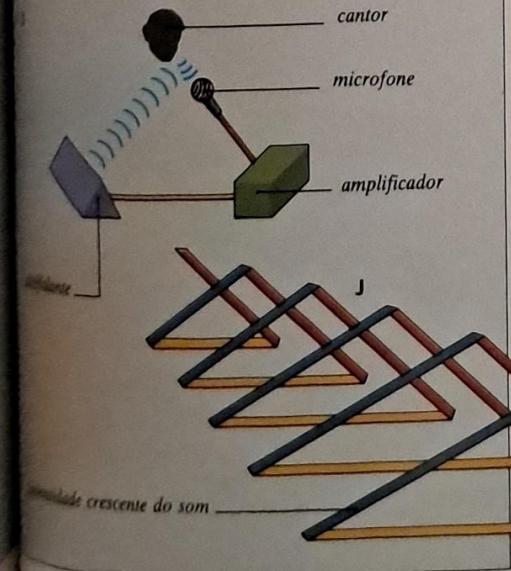
Os componentes acima descritos — resistência fotodependente, potenciómetro e amplificador operacional — podem combinar-se para formar um circuito de controlo simples utilizado para controlar a luz piloto de uma caldeira a gás. Este circuito funciona por detecção da luz emitida pelo gás a arder. Se a luz for inadvertidamente apagada, uma válvula solenóide é automaticamente fechada, cortando o fornecimento de gás e evitando, deste modo, uma fuga potencialmente perigosa.

Neste circuito, a LDR está ligada em série a uma resistência fixa de alto valor e a uma pilha, formando um potenciómetro. Quando a luz incide sobre a LDR, a sua resistência é baixa. O potencial eléctrico na junção é portanto também baixo. Mas se nenhuma luz incidir sobre a LDR a sua resistência aumenta e uma voltagem maior é obtida na junção. Esta diferença de voltagem é aumentada pelo amplificador operacional e utilizada para fazer fechar a válvula solenóide.

Dispositivos de controlo automático

Um aquecedor eléctrico converte uma entrada de electricidade numa saída de calor. Contém um termóstato, isto é, um interruptor sensível à temperatura. À medida que o dispositivo vai produzindo calor, a temperatura sobe até um valor limite, atingido o qual o termóstato desliga a fonte de energia. Quando a temperatura volta a descer abaixo deste valor, a fonte de energia é de novo ligada. Na realidade, o termóstato utiliza a acção do aquecedor para controlar a entrada de electricidade. Este tipo de sistema de controlo, cujo objectivo é manter estável um conjunto de condições (neste caso, uma temperatura regular), chama-se *circuito de retroacção negativo*. Muitos sistemas biológicos, como a temperatura do corpo humano, são também regulados por retroacção negativa.

Se a saída de um sistema servir para reforçar a entrada, o sistema torna-se instável. É a chamada *retroacção positiva*, responsável pelo silvo que se ouve quando um microfone capta o seu próprio sinal amplificado por um altifalante.



Cantar ao microfone converte o som numa onda eléctrica. Um amplificador aumenta a amplitude da onda e transmite o sinal intensificado a um altifalante [I]. Se este estiver perto do microfone, o seu som é captado de novo. O sinal efectua um círculo, sendo amplificado cada vez mais [J] e rapidamente se transforma no silvo agudo da retroacção positiva.

Dispositivos lógicos e digitais

Uns, zeros e os circuitos que os somam

Um computador é, essencialmente, uma máquina que adiciona e subtrai números. Os números representam uma incrível variedade de coisas diferentes, desde pontos de cor num ecrã à localização de dados na memória, e a cada momento estão a ser processados muitos milhões de números diferentes. O computador consegue fazer isto porque os números são binários, constituídos apenas por uns e zeros, e representados de forma muito simples por correntes «ligada» e «desligada».

Os circuitos básicos que manipulam estas voltagens chamam-se portas lógicas e podem ser tão simples como um único transistor. Uma combinação de apenas algumas portas lógicas forma um circuito que pode adicionar dois números binários — processo que está na base do modo como os computadores funcionam.

Sistemas numéricos

Os números que utilizamos todos os dias são números decimais, termo derivado de *decimus*, palavra latina que significa «em décimos». Cada número por si só é uma espécie de soma — o algarismo da direita representa as unidades, o que está ao seu lado as dezenas (10^1), seguido das centenas (10^2), e assim por diante, representando cada coluna adicional a potência de 10 seguinte. Um sistema numérico tem de ter tantos algarismos diferentes quanto o número em que se baseia, por isso o sistema decimal tem 10 dígitos, de 0 a 9.

Mas um computador lida com correntes e os seus circuitos têm apenas que distinguir entre os estados ligado e desligado. É por esta razão que os computadores utilizam números *binários* ou *de base 2*, em que cada coluna sucessiva representa uma potência superior de dois: 1, 2, 4, 8, etc. São apenas necessários dois algarismos: 1, ou «ligado», e 2, ou «desligado». Cada entrada para o computador tem de ser convertida num número binário antes de ser armazenada e manipulada.

Ligado não passa, desligado passa

Num único *chip* de silício existem milhões de *transistores de efeito de campo* (FET). Estes têm três ligações: a corrente pode passar entre duas delas, o *elemento colector* e o *elemento emissor*. Uma voltagem existente na terceira ligação, a *porta*, controla o fluxo de corrente entre as outras duas. Há um tipo de FET que só deixa passar a corrente se a voltagem da porta for zero ou negativa, por isso, se se enviar um impulso positivo, representando um 1, para a porta, a saída de corrente do elemento emissor é um 0. Se não houver voltagem na porta — um 0 —, a corrente passa, representando um 1.

Os dígitos binários podem ser comparados e manipulados utilizando as regras da *álgebra booliana*, que deve o seu nome ao matemático do século XIX George Boole. Na álgebra booliana, palavras curiosas, como NÃO, E e NEM, correspondem a determinadas operações lógicas. Por exemplo, o FET acima descrito, que tem sempre uma saída oposta à entrada, é (logicamente) designado por porta NÃO.

A *contagem no sistema decimal* pode ser representada pela colocação de blocos numa prateleira [B]. Os primeiros 9 blocos cabem na prateleira da esquerda, mas para se contar até 10 tem de se colocar um bloco na prateleira seguinte. A prateleira da direita volta então a ser cheia com um bloco de cada vez à medida que a contagem prossegue. O conteúdo das prateleiras representa um número, tal como um número decimal representa o número de unidades, dezenas, centenas, etc., que esse número contém.

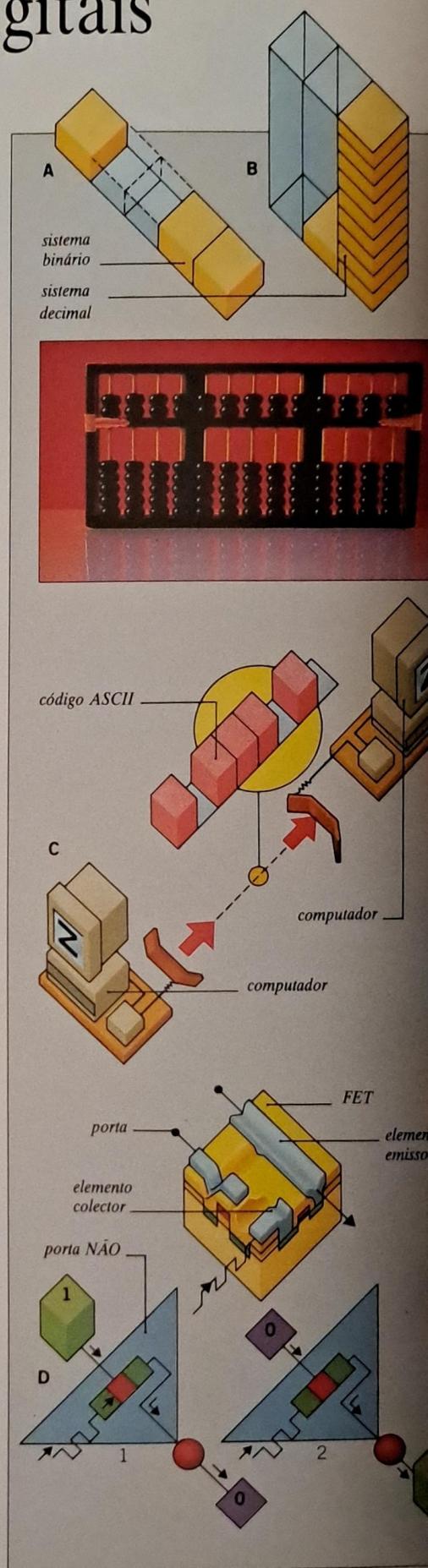
Os números binários podem ser representados por um sistema semelhante [A], que tem espaço para apenas um bloco em cada prateleira, cujo conteúdo representaria um 1 ou um 0 num número binário. As sucessivas prateleiras dão o número de cada potência de 2 presente no número — 2, 4, 8, etc.

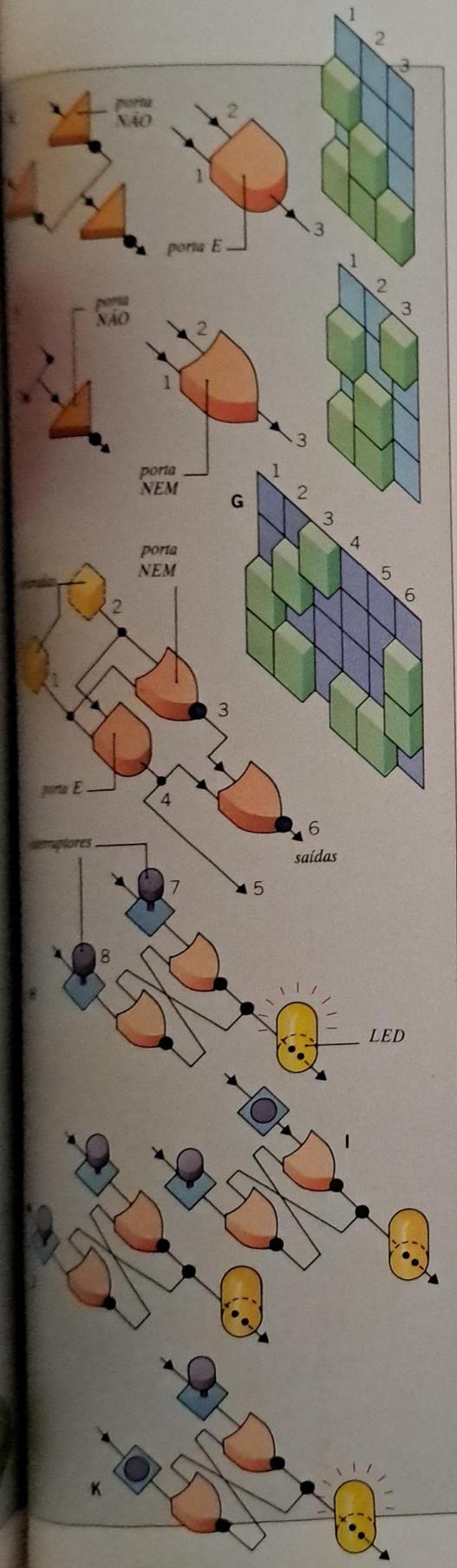
Um *ábaco* (à direita) é uma máquina de adicionar antiga que utiliza contas para representar números. Em vez de ter por base o número 10, como os números decimais, ou a base 2 do sistema binário, conta em potências de 5.

Os computadores utilizam números binários para comunicarem [C]. Cada letra do alfabeto tem um código ASCII (American Standard Code for Information Interchange — Código Americano Normalizado para Troca de Informação) de 8 dígitos. Existem 256 combinações possíveis de 8 uns e zeros, deixando muitos códigos «vagos» que podem representar símbolos especiais e caracteres úteis, como as letras acentuadas.

Um transistor de efeito

de campo pode funcionar como uma porta NÃO, que capta um impulso binário (0 ou 1) e de onde sai o valor posto (respectivamente 1 ou 0) [D]. Tem três terminais: entre dois deles, o elemento colector e o elemento emissor, passa corrente. Uma voltagem no terceiro terminal, a porta, determina a intensidade da corrente que passa. Esta vai alimentar o elemento colector sob a forma de uma série de impulsos. Uma voltagem positiva na porta [1] (representando «ligado», ou o 1 binário) impede a passagem de corrente para o elemento emissor, dando origem a 0. Uma voltagem negativa na porta, representando 0, permite a passagem do impulso através e para fora do elemento emissor, representando um 1 [2].





Podem ligar-se três portas NÃO umas às outras, formando uma porta E [E]. A sua saída só é um 1 se ambas as entradas forem também 1. Qualquer outra combinação de entradas dá uma saída de 0.

É mais fácil visualizar as diferentes entradas e saídas possíveis para qualquer porta lógica sob a forma de tabela verdadeira. Aqui, uma «célula» saliente representa um 1 e uma plana representa um 0. As colunas [1] e [2] representam as entradas possíveis, enquanto [3] mostra a saída. A tabela verdadeira para uma porta NEM [F] mostra que a sua saída é o inverso da de uma porta E. Este dispositivo lógico dá uma saída de 1 apenas quando ambas as suas entradas são 0.

Um adicionador parcial é uma combinação simples de uma porta E e duas NEM [G]. É um circuito útil porque pode adicionar duas entradas (1 ou 0) e dar a resposta sob a forma de um código binário de dois dígitos. Por exemplo, se as entradas [1] e [2] forem ambas 1, a saída da porta E [4] será um 1, enquanto a saída da primeira porta NEM [3] é um 0. Ambas as saídas passam em seguida para a segunda porta NEM, que dá uma saída [6] de 0 — o algarismo das unidades do código binário. A saída da porta E dá o segundo dígito do código binário — um 1. Assim, em código binário, se se adicionar 1 a 1, obtém-se a resposta 10 — equivalente a 2 no sistema decimal.

Um circuito biestável, mais vulgarmente conhecido por flip-flop, é um circuito útil constituído por duas portas NEM ligadas uma à outra [H]. A saída de cada porta é dirigida para uma das entradas da outra porta. As duas entradas restantes ligam-se a dois interruptores [7] e [8]. O acto de pressionar ou largar um interruptor produz um impulso de corrente que representa um 1. Um diodo emissor de luz (LED) iluminado mostra quando a saída do circuito biestável é um 1. Primeiro o LED está ligado. A pressão do interruptor [7] desliga-o [I]. Quando o interruptor é libertado, o LED permanece apagado [J]. Mas, se se pressionar o interruptor [8], inverte-se o circuito, ligando de novo o LED [K].

Saída lógica

Os transistores que funcionam como portas lógicas, de acordo com as regras da álgebra booleana, podem ser utilizados de maneiras diferentes e em combinações diferentes para efectuarem operações lógicas diferentes. Uma simples porta NÃO, por exemplo, produz uma saída de 1 para uma entrada de 0 (e vice-versa). Mas, se se combinarem duas entradas numa única porta NÃO, esta transforma-se em porta NEM, em que a saída é 1 apenas quando *ambas* as entradas forem 0. De igual modo, se se combinarem três portas NÃO num circuito simples, obtém-se uma porta E. Aqui, a saída é um 1 apenas quando *ambas* as entradas forem 1. Se qualquer entrada for 0, a saída passa a ser 0. Cada uma destas portas lógicas é representada pelo seu próprio símbolo geométrico (ver ilustração). O modo como funcionam pode ser expresso numa *tabela verdadeira*, que lista todas as combinações possíveis de entradas e as saídas a que dão origem. Estas saídas podem ser combinadas e processadas através de outras portas lógicas, constituindo-se assim uma tabela complexa.

Adicionar

Os computadores funcionam manipulando números, que podem representar muitas coisas, desde pontos de luz num ecrã à posição do braço de um robô. O cálculo mais simples que um computador necessita de efectuar é a adição de dois números binários de um único dígito. Para efectuar este cálculo, três portas lógicas, uma E e duas NEM, podem estar ligadas umas às outras. O dispositivo como um todo origina duas saídas — um algarismo das *unidades* e um algarismo de *transporte*. Por exemplo, se se introduzirem dois uns no adicionador, o resultado é um algarismo de unidade «0» e um «1» como algarismo de transporte. Em conjunto, estes dois algarismos formam 10, representação binária do número decimal 2. Num computador podem adicionar-se números muito maiores transmitindo os algarismos das unidades e de transporte a milhares de outros circuitos de adição.

Podem construir-se circuitos semelhantes que subtraem uma entrada de outra. Com estas simples peças podem efectuar-se cálculos muito mais complicados.

Flip-flops electrónicos

Meios magnéticos como discos e fitas podem proporcionar armazenagem a longo prazo de informação digital num computador. Mas este também necessita de uma *memória* de actuação rápida a que possa recorrer rapidamente. Este tipo de memória chama-se *memória de acesso aleatório*, ou RAM, e baseia-se na armazenagem electrónica e não magnética da informação. A RAM existe em duas formas diferentes.

Um tipo, a chamada RAM *dinâmica*, utiliza condensadores para armazenar minúsculas cargas eléctricas que correspondem a uns e zeros digitais. Apesar do seu nome, a memória deste tipo é relativamente lenta. A RAM *estática* é um tipo de memória muito mais rápido, embora mais caro. Contém circuitos *biestáveis* (ou *flip-flops*), que utilizam uma disposição engenhosa de duas portas NEM. Estas criam um circuito com uma saída constante que não se altera até que seja obrigado a fazê-lo. Assim, um impulso 1 ou 0 pode ser armazenado no circuito biestável e lido quase de imediato no momento em que é necessário.