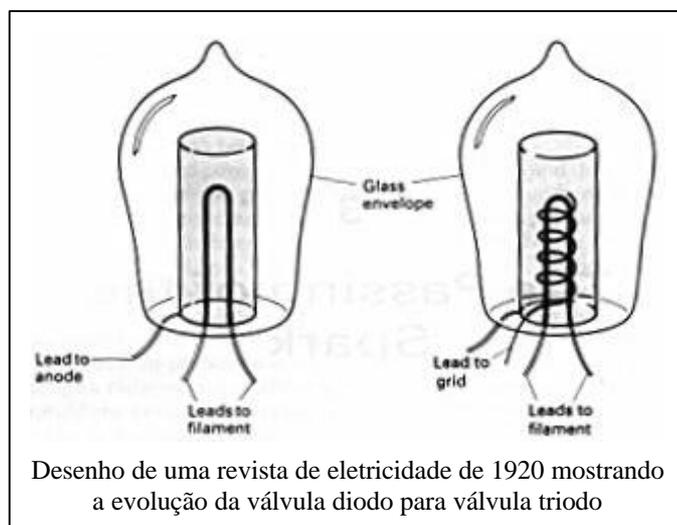


Do Transistor ao Microprocessador

Ewaldo L. M. Mehl

1. Válvulas sem vácuo

Nos primórdios da eletrônica tinha-se duas possibilidades para retificar uma corrente alternada: uma delas era usando-se uma válvula-diodo e outra, empregando diodos de óxido de cobre ou óxido de selênio. Porém colocando-se uma grade metálica entre o catodo e o anodo de uma válvula diodo, tem-se uma nova espécie de válvula, chamada *triodo*, com a qual é possível controlar o fluxo de corrente através do dispositivo. Dessa forma, é obvio que desde os primórdios da eletrônica tenha se tentado o desenvolvimento de um "triodo sem vácuo", fazendo-se um paralelo entre as válvulas-diodos e os diodos de óxido de cobre e óxido de selênio. Nesse sentido durante a década de 1920 foram registradas diversas patentes de invenções de "triodos sólidos", porém sem que tivessem dado origem a dispositivos comerciais.



Desenho de uma revista de eletricidade de 1920 mostrando a evolução da válvula diodo para válvula triodo

Frente a tais tentativas, é até estranho que a invenção do transistor tenha tido sua origem em uma área de pesquisa relativamente distante, ligada ao desenvolvimento do radar. Ao contrário do que seria de se imaginar, o transistor surgiu como resultado de estudos onde se desejava usar cristais de germânio e de silício como detectores de radar e talvez esse fato explique porquê à princípio seus inventores não tivessem dado a devida importância ao novo dispositivo. Também é interessante observar que o transistor, ao contrário de outras descobertas, não é propriamente um "produto de guerra", mas uma invenção ocorrida imediatamente após a Segunda Guerra Mundial, como uma espécie de consequência da disponibilidade de cristais de germânio altamente purificados produzidos como arma militar.

A invenção do transistor está intimamente ligada à instituição onde ele "nasceu": o laboratório de pesquisas da empresa Bell Telephone, conhecido como Bell Labs. Assim não é coincidência que o primeiro personagem de importância para a história do transistor é justamente um engenheiro que trabalhou nesse centro de pesquisa desde a sua fundação até se aposentar. George Clarke Southworth (1890-1972) nasceu no estado norte-americano da Pennsylvania e formou-se no Grove City College, onde fez também curso de Mestrado. Posteriormente na Yale University obteve seu título de PhD. No Bell Labs ele trabalhou com guias para microondas e dessa forma atuou de forma direta no desenvolvimento do radar, durante a Segunda Guerra Mundial.



George Clarke Southworth



Russel S. Ohl

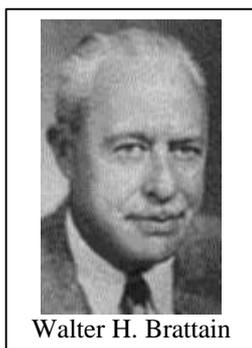
Ao verificar que as válvulas triodos funcionavam bem como detectores de ondas de rádio mas eram inúteis como detectores de radar, Southworth resolveu experimentar no radar os mesmos cristais que eram usados nos primeiros receptores de rádio. Esses rádios, chamados de "rádio-galena" usavam como detector um pequeno pedaço de um minério cristalino de chumbo e enxofre (PbS), conhecido pelos geólogos como *galena*. Tais receptores já se achavam ultrapassados nessa época e dessa forma Southworth teve que obter cristais de galena retirados de antigos receptores de rádio que encontrou em lojas de artigos de segunda-mão na cidade de Nova York.

A idéia de Southworth de usar cristais como detetores de radar mostrou bons resultados e iniciou-se uma pesquisa no Bell Labs quanto ao uso de outros tipos de cristais, entre eles o quartzo (óxido de silício - SiO₂). O próximo personagem dessa história, Russel Shoemaker Ohl (1898-1987), tem sido chamado de "pai desconhecido" do transistor. Ohl era químico formado pela Penn State University em 1918 e trabalhava para o Bell Labs desde 1927. A partir de 1940 Ohl passou a integrar a equipe que trabalhava na pesquisa de cristais detetores de radar, ficando encarregado da obtenção de silício altamente purificado. Durante esse trabalho Ohl conseguiu produzir bastões de silício com dopagem p e n nas extremidades opostas, que se constituiu no primeiro diodo de junção p-n. Ohl também descobriu que o dispositivo era sensível a luz em vários comprimentos de onda, sendo portanto também o inventor do diodo foto-detector. Apesar desses diodos primitivos terem sido fabricados com silício em plena Segunda Guerra Mundial, as pesquisas no Bell Labs estavam extremamente voltadas ao radar e dessa forma dava-se mais atenção às propriedades dos cristais semicondutores como detetores de alta frequência do que especificamente para o desenvolvimento de novos dispositivos.

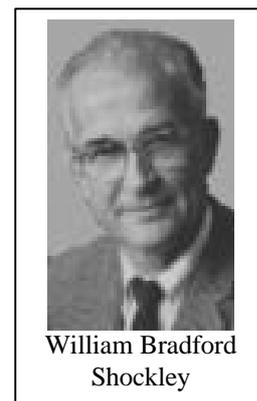


As pesquisas do Bell Labs, pela aplicação militar do radar, eram conduzidas em caráter ultra-secreto. Um outro grupo no entanto dedica-se também ao estudo de cristais semicondutores e esteve a um passo de inventar o transistor antes dos cientistas do Bell Labs. Karl Lark-Horovitz (1892-1958) era professor assistente na Universidade de Vienna, na Áustria. Primeiramente emigrou para o Canadá e em 1926 para os EUA, onde tornou-se professor de física na Universidade Purdue. A partir de 1942 o Prof. Lark-Horovitz e um grupo de pesquisadores da Purdue começaram a concentrar seus estudos nas propriedades elétricas de cristais de germânio e teve seu trabalho atraído pelos pesquisadores do Bell Labs. Os físicos da Purdue mantiveram estreita colaboração com o Bell Labs, através de uma série de reuniões técnicas. Infelizmente tal colaboração ocorreu num único sentido, pois devido a Segunda Guerra Mundial em curso, os trabalhos do Bell Labs na área de semicondutores não eram divulgados à comunidade acadêmica. Dessa forma, o grupo de Lark-Horovitz não tinha acesso aos resultados do Bell Labs nessa área e acredita-se que por tal motivo a invenção do transistor teve que esperar o fim da guerra para ocorrer.

O transistor é uma invenção creditada a três pesquisadores do Bell Labs: Shockley, Bardeen e Brattain. Essa paternidade e o fato dos três terem sido agraciados com o Prêmio Nobel de Física por sua invenção pressupõe um trabalho de pesquisa conjunta, mas que na verdade teve seus momentos de inveja e desentendimento. William Bradford Shockley (1910-1989) é, dos três inventores, certamente o personagem mais polêmico. Nascido em Londres (Inglaterra), seus pais emigraram para a Califórnia, onde Shockley estudou na Cal Tech. Posteriormente, fez Doutorado no MIT. Começou a trabalhar no Bell Labs em 1936 onde, a partir de 1939, pesquisou uma maneira de converter os cristais retificadores em um dispositivo de amplificação de sinais elétricos. A Segunda Guerra Mundial interrompeu essa linha de pesquisas, sendo que a partir de 1945 Shockley assumiu no Bell Labs o cargo de vice-líder do grupo de pesquisas em Física do Estado Sólido. Esse grupo incluía Bardeen, um pesquisador que já estavam trabalhando com o



mecanismo de condução elétrica em cristais e posteriormente Brattain, um físico recém-desempregado da Marinha dos EUA. Walter H. Brattain (1902-1987) nasceu na China, filho de um norte-americano que trabalhava em uma escola para estrangeiros. Com a volta dos pais para os EUA, estudou no



Whitman College, na Universidade do Oregon e na Universidade de Minnesota. Começou a trabalhar no Bell Labs em 1929, investigando o comportamento de retificadores de óxido de cobre, até suas pesquisas serem interrompidas pela Segunda Guerra Mundial, quando passou ao grupo de pesquisas sobre detectores de radar. Ao término da guerra, com os conhecimentos que havia obtido no uso do silício, Brattain começou a trabalhar com John Bardeen, um novo integrante do Grupo de Física do Estado Sólido do Bell Labs. John Bardeen (1908-1991) era filho do Reitor da Escola de Medicina da Universidade de Wisconsin, com título de PhD em Física Matemática obtido na Universidade de Princeton. Foi professor na Universidade de Minnesota e, com o advento da Segunda Guerra Mundial, alistou-se na Marinha e transformou-se em um dos mais importantes Físicos do Laboratório de Artilharia Naval dos EUA. Com o final da guerra Bardeen estava quase voltando a dar aulas em Minnesota quando recebeu uma oferta de emprego da Bell Telephone para



trabalhar no Bell Labs, com cerca do dobro do salário que receberia como professor universitário. Com a perspectiva de trabalhar com aspectos teóricos da Física de Estado Sólido, Bardeen passou a integrar a equipe do Bell Labs, onde aplicou conceitos da Física Quântica que demonstraram a existência de uma camada de cargas livres na superfície externa de um cristal de germânio. Nesse trabalho, Bardeen era o teórico e Brattain o experimentalista, sendo que a partir de uma experiência idealizada por Brattain para medir as cargas superficiais de um cristal de germânio, verificou-se que o eletrodo metálico causava um efeito de controle da corrente elétrica. Nascia assim em dezembro de 1947 o primeiro transistor, conhecido como transistor de contato metálico. O nome veio de



transfer resistor, pelo efeito na mudança de condutividade do cristal. Ao mostrar o dispositivo para Shockley, este lembrou-se de um trabalho que havia realizado antes da guerra, porém usando óxido de cobre e não germânio e sugeriu um novo dispositivo, onde o contato metálico foi substituído por uma camada fina de germânio, atuando como terminal de controle da corrente (ou seja, o terminal "base" do transistor). Assim, o transistor de junção nasceu poucas semanas após o transistor de contato metálico. Apesar de Brattain ser reconhecido como o construtor dos primeiros transistores, Shockley atribuía a si a paternidade do transistor de junção, por conta de sua idéia "esquecida" pela Guerra. No início de 1948 Shockley, Brattain e Bardeen preencheram o pedido de patente do transistor,

repassando os direitos de comercialização para o Bell Labs. Devido a forte personalidade de Shockley e sua posição de chefia houve conflitos na equipe e em 1951 Bardeen deixou o Bell Labs para se tornar professor de Engenharia Elétrica e Física na Universidade de Illinois. Logo em seguida Brattain também pediu demissão. Em 1955 Shockley também deixou o Bell Labs e fundou na cidade de Palo Alto na Califórnia a empresa Shockley Semiconductor, reunindo uma equipe de jovens físicos em semicondutores, entre eles Robert Noyce, que anos mais tarde seria um dos inventores do circuito integrado. Dessa forma, em 1956 quando foi anunciado o Prêmio Nobel de Física pela invenção do transistor, nenhum dos seus inventores permanecia ainda trabalhando no Bell Labs.

Ao contrário do que se pode imaginar, o transistor não foi uma invenção do acaso. A empresa-mãe do Bell Labs, atuando em telefonia e dominando uma expressiva parcela do mercado norte-americano na ocasião, via com preocupação o crescimento da complexidade das centrais telefônicas. Utilizava-se nessas centrais milhares de relés e outros interruptores eletromecânicos, sendo que sua substituição pela válvula a vácuo era inconveniente. Dessa forma, a empresa demandava do seu laboratório um novo dispositivo que fosse compacto e pudesse substituir os relés eletromecânicos. No entanto, a invenção do transistor foi uma feliz coincidência da disponibilidade do material certo (no caso, cristais de germânio que haviam sido usados nos radares) aliado a pesquisadores com conhecimentos teóricos apropriados. A John Bardeen deve-se dar, com certeza, o crédito por ter trazido a Mecânica Quântica de Max Planck para os semicondutores, aplicando de modo brilhante ferramentas teóricas para casos práticos. Após sair do Bell Labs, na Universidade de Illinois, Bardeen continuou a trabalhar com pesquisas na área da condução da eletricidade e em 1972 voltou a receber o Prêmio Nobel de Física com Cooper e Schrieffer, pelo desenvolvimento da teoria da supercondutividade. Dessa forma, Bardeen tornou-se o primeiro cientista a receber dois Prêmios Nobel. A empresa de Shockley na Califórnia não teve sucesso, aparentemente devido à personalidade agressiva do seu fundador. Em 1957 oito dos funcionários de Shockley, entre eles Robert Noyce, deixaram a empresa e fundaram a Fairchild Semiconductor como uma nova divisão da empresa de produtos ópticos Fairchild Camera Corporation. Shockley, por outro lado, voltou a ser notícia nos anos de 1970 quando, já aposentado, apresentou uma polêmica teoria genética da inteligência que "provava" a "inferioridade" das pessoas negras. Novamente na década de 1980 Shockley voltou às manchetes dos jornais ao anunciar que havia depositado num banco de esperma (aos 70 anos de idade) amostras de seu sêmen para que fosse utilizado na inseminação de mulheres "com elevada inteligência", como parte de um polêmico projeto para gerar crianças destinadas a serem futuros "gênios".

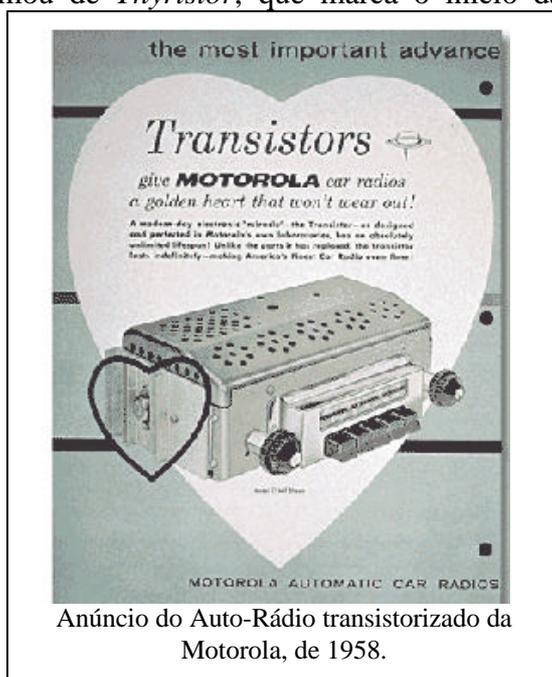
2. Do Laboratório para as Indústrias

Apesar da importância do transistor, nos primeiros instantes de seu desenvolvimento não se percebeu o impacto que o novo dispositivo causaria na indústria eletrônica. Tanto é que apesar do transistor ter sido inventado em 1948 somente em 1956 seus inventores receberam o Prêmio Nobel de Física. A princípio os transistores eram fabricados exclusivamente pela empresa Western Electric, "braço" industrial da Bell que administrava as patentes do Bell Labs, para serem usados em centrais telefônicas. O primeiro produto de consumo que utilizou transistores foi um aparelho de amplificação de som para pessoas com comprometimento auditivo, fabricado nos EUA em 1952 pela empresa Zenith. Os transistores foram cedidos pela Western Electric, ao custo de US\$ 16 cada um. Outras empresas norte americanas, no entanto, estavam interessadas em também fabricar seus próprios transistores e pressionavam a Western Electric a autoriza-las a entrarem no mercado, entrando inclusive com uma ação anti-truste na justiça federal norte-americana. A Western Electric resolveu então a partir de 1952 oferecer licenças de fabricação de transistores às empresas norte-americanas, ao custo de US\$ 25 mil cada uma. A primeira empresa que se interessou em adquirir o licenciamento foi a Texas Instruments, instalada em Dallas, no estado do Texas. É interessante observar que a Texas Instruments era originalmente uma empresa que se dedicava à fabricação de equipamentos geológicos e fazia análises sísmológicas. Com a exploração de petróleo no estado

norte-americano do Texas, a empresa teve um rápido crescimento nas décadas de 1920 e 1930. Durante a Segunda Guerra Mundial a empresa acabou envolvendo-se com a produção de equipamentos eletrônicos militares e viu no transistor uma oportunidade de dar um destino às suas instalações de produção de equipamentos eletrônicos que haviam se tornado ociosas com o término da guerra. Apesar da aquisição da licença, os quatro técnicos da Texas Instruments que ficaram oito dias no Bell Labs para conhecer o método de fabricação dos transistores voltaram para Dallas extremamente decepcionados com a precariedade do processo e afirmaram que era uma mera questão de sorte que os transistores funcionassem ou não. Era comum, por exemplo, que em cada cinco transistores fabricados somente um funcionasse, o que era inconcebível sob o ponto de vista de produção em larga escala. A Texas Instruments contratou então Gordon Teal, um texano que trabalhava no Bell Labs, para que auxiliasse na produção dos transistores. Para evitar conflitos com o Bell Labs devido à contratação de Gordon Teal, a Texas Instruments colocou um pequeno anúncio num jornal de Nova York, sem identificação da empresa, recrutando um pesquisador. Assim oficialmente Gordon Teal entrou na Texas Instruments em resposta a esse anúncio, apesar de ter ficado claro que seu recrutamento na verdade ocorreu como fruto da visita do pessoal da Texas ao Bell Labs. Após aproximadamente um ano de trabalho na Texas Instruments, Gordon Teal e sua nova equipe conseguiram fabricar os primeiros transistores de germânio em 1953 e com custo de US\$ 2.50 cada, bastante inferior aos US\$ 16 da Western Electric. Em 1954 a Texas Instruments anunciou o início da produção de transistores de silício, com a vantagem de operarem até uma temperatura de cerca de 100°C. A empresa General Electric, que também adquiriu a licença de fabricação dos transistores, interessou-se especialmente por um dispositivo com quatro camadas (PNPN) também desenvolvido no Bell Labs em 1956, batizado de *triggering transistor*. A GE lançou então em 1958 um novo dispositivo, que chamou de *Thyristor*, que marca o início da Eletrônica de Potência.

Outra empresa que também adquiriu a licença de fabricação do transistor foi a Motorola, que havia sido fundada em Chicago em 1928 pelos irmãos Paul V. Galvin (1895-1959) e Joseph E. Galvin (1899-1944). Inicialmente a empresa chamava-se Galvin Manufacturing Corporation e construía retificadores destinados a carregar as baterias que eram usadas como fontes de alimentação nos rádio-receptores domésticos. No entanto nos anos seguintes os receptores de rádio começaram a ser fabricados já com a fonte de alimentação incorporada, de modo que as vendas da empresa dos irmãos Galvin começaram a declinar. Com o crescimento da indústria automobilística norte-americana e o grande interesse na época pelos programas de rádio, os irmãos Galvin decidiram fabricar um rádio-receptor que pudesse ser instalado nos automóveis. Em 1930, a empresa lançou

o primeiro rádio para automóveis com o nome de *Motorola*, em uma espécie de contraposição ao rádio doméstico equipado com toca-discos chamado "Radiola" que havia sido lançado pela RCA. No início os auto-rádios eram bastante grandes e não havia um lugar apropriado para sua instalação nos automóveis, obrigando a empresa dos irmãos Galvin a licenciarem oficinas de instalação que faziam a adaptação dos rádios aos veículos. Só após a Segunda Guerra Mundial as empresas automobilísticas passaram a oferecer os auto-rádios como acessório do próprio veículo. A Motorola começou a atuar também na área de rádio-comunicação e foi a primeira empresa a produzir equipamento de rádio para os automóveis da polícia norte americana. Por tal experiência em rádio-comunicação durante a Segunda Guerra Mundial a Motorola ficou encarregada de produzir um rádio-comunicador portátil para as tropas norte-americanas, conhecido como *Handie-Talkie*, que era carregado numa mochila por um soldado. Esse trabalho envolveu de tal forma a Motorola que toda



Anúncio do Auto-Rádio transistorizado da Motorola, de 1958.

a fábrica ficou dedicada à produção de equipamento militar de 1942 até 1944, comercializando para o público civil somente alguns auto-rádios existentes nos estoques que foram convertidos para serem usados nas residências. Terminada a Guerra, a Motorola voltou-se novamente para a produção de auto-rádios mas tinha sua linha de produção dos *Handie-Talkies* ociosa e procurava novos produtos. Para a Motorola, o baixo consumo de energia dos transistores pareceu uma interessante característica, já que o principal problema dos auto-rádios à válvulas era o elevado consumo de energia da bateria do automóvel. Assim, a Motorola comprou da Western Electric em 1952 a licença de fabricação do transistor com o claro objetivo de tentar produzir transistores de potência. No entanto, somente em 1956 a Motorola conseguiu fabricar seus primeiros transistores de germânio com capacidade de 3A e lançou seu primeiro auto-radio transistorizado.

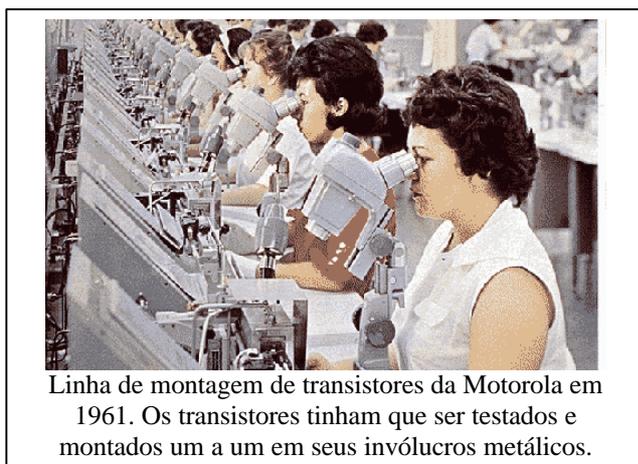
Os primeiros transistores eram feitos a partir de um pequeno bastão de cristal de germânio tipo N, com as extremidades dopadas com o elemento químico índio. Obtinha-se, dessa forma, unicamente transistores PNP. No entanto em 1953 um empresário japonês procurou a Western Electric, oferecendo-se para adquirir os direitos de fabricação dos transistores. Esse personagem chamava-se Akio Morita e sua empresa tinha o longo nome de Tokyo Tsushin Kogyo Kabushiki Kaisha. Morita havia criado sua pequena empresa logo após o término da Guerra, fabricando inicialmente painéis dotados de resistências elétricas para cozimento de arroz. Com o grande interesse dos japoneses, nessa época, em aprender o idioma Inglês, Morita começou também a fabricar gravadores de som que eram usados em escolas de Inglês para reproduzir fitas gravadas com programas de rádio norte-americanos, já que os professores japoneses tinham uma péssima pronúncia de Inglês. Como o número de receptores de rádio era muito reduzido no Japão, Morita interessou-se pelo transistor para fabricar rádios portáteis de baixo custo. Apesar do mais completo



Akio Morita, fundador da Sony e o antigo logotipo da empresa.

ceticismo da Western Electric, a licença foi fornecida à empresa de Morita mediante o pagamento da mesma quantia de US\$ 25 mil que era cobrada das empresas norte-americanas. A Western Electric chegou a consultar o Departamento de Estado norte-americano se podia ou não vender a licença a Morita, visto que o Japão era até há poucos anos um inimigo na Guerra. Os funcionários federais no entanto não colocaram nenhum óbice à venda da licença e consideraram que a pequena empresa japonesa estava simplesmente jogando dinheiro fora.

De fato, no Japão, a empresa de Morita logo verificou que os transistores da Western Electric não funcionavam em altas frequências, fato que impediria seu uso em rádio-receptores. No entanto após cerca de um ano de tentativas dois funcionários de Morita chamados Makoto Kikuchi e Leo Esaki conseguiram fabricar transistores NPN de germânio, usando fósforo como dopante, com resposta de frequência superior aos transistores PNP da Western Electric. Durante essas pesquisas foi também descoberto o efeito de tunelamento nos semicondutores, que levou Esaki a receber o Prêmio Nobel de Física em 1973. De forma independente nos EUA a Texas Instruments também conseguiu fabricar transistores NPN de alta frequência e em 1955 a companhia norte-americana Regency lançou um rádio receptor transistorizado alguns meses antes dos japoneses, vendido no varejo por cerca de US\$ 50. Cada rádio receptor da Regency tinha 4 transistores fabricados pela Texas Instruments. No entanto a Regency aparentemente não acreditava no sucesso do seu produto e produziu poucas unidades do seu rádio modelo TR-1, que esgotou-se rapidamente das poucas



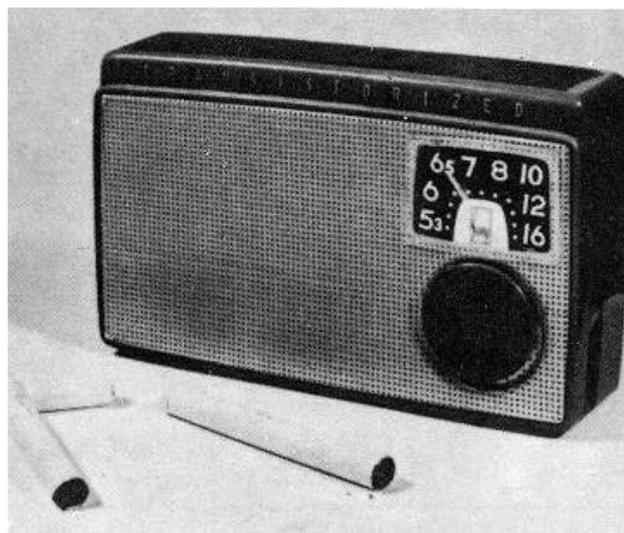
Linha de montagem de transistores da Motorola em 1961. Os transistores tinham que ser testados e montados um a um em seus invólucros metálicos.

lojas que o comercializaram.

Em 1955 Akio Morita voltou aos EUA levando consigo algumas amostras de um rádio transistorizado recém fabricado por sua empresa no Japão e que pretendia vender às lojas, com preço de revenda a US\$ 29.95. Para tornar mais fácil o contato com os norte-americanos, Morita usou nos rádios o nome Sony, obtido do latim *sonus* (som) e de uma gíria americana da época da guerra: *sonny-boy* (rapaz bonito e inteligente). Morita conseguiu fechar um pedido de 10 mil unidades com uma rede de lojas de Nova York às vésperas do Natal de 1955, enquanto a Regency via-se impedida de atender à procura pelo seu rádio. Com o preço altamente competitivo, os rádios Sony foram um grande sucesso de vendas e Morita adotou, alguns anos depois, o nome do seu primeiro rádio para a própria empresa.



Rádio transistorizado modelo TR-1 fabricado pela empresa Regency nos EUA em 1955, utilizando quatro transistores da Texas Instruments.



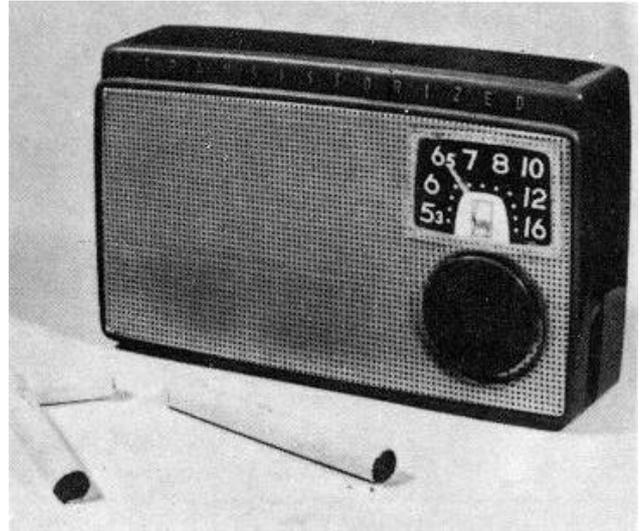
O primeiro rádio Sony, lançado em 1955, quando a empresa ainda tinha o longo nome Tokyo Tsushin Kogyo Kabushiki Kaisha. O nome Sony aparece acima do botão de sintonia e na caixa está gravada a palavra "TRANSISTORIZED".

Os pequenos rádios Sony se tornaram imensamente populares em todo o mundo. Na cidade de Nova York (EUA) uma lei na época proibia os *taxis* de terem auto-rádios, sob justificativa que podiam distrair os motoristas no trânsito intenso. Os motoristas de taxis costumavam então comprar os pequenos rádios Sony para ouvir música e os jogos esportivos enquanto dirigiam, sem infringirem a lei, já que o aparelhos não eram "auto-rádios". No Brasil esses rádios tiveram grande aceitação pelo público dos jogos de futebol, que adquiriram o hábito de ouvir as transmissões esportivas ao mesmo tempo que assistiam às partidas. Curiosamente, como na caixa dos rádios estava escrito "TRANSISTOR", essa palavra foi durante muito tempo no Brasil usada como sinônimo de "pequeno rádio portátil".

Apesar das enormes dificuldades envolvidas na fabricação dos transistores, que eram montados manualmente dentro dos invólucros metálicos, a Sony tomou partido do baixo custo da mão-de-obra japonesa no pós-guerra e a empresa cresceu vertiginosamente. Seu nome tem sido freqüentemente associado ao lançamento de produtos de sucesso. Em 1959 a Sony lançou o primeiro receptor de TV empregando transistores e em 1978 um pequeno aparelho que tocava uma fita cassete mas não gravava nem possuía alto-falantes, e que se tornou um símbolo da juventude: o "Walkman". No campo da gravação de imagem, a Sony teve uma péssima experiência na década de 1970 ao insistir em utilizar nos seus video-cassetes o seu próprio padrão Betamax, enquanto os demais fabricantes utilizaram o sistema VHS. Aparentemente essa má-experiência com o vídeo-cassete Betamax deu seus frutos pois mais tarde, quando na década de 1980, em associação com a companhia holandesa Philips, a Sony desenvolveu os padrões do CD e do CD-ROM, esses foram adotados em todo o mundo.



Rádio transistorizado modelo TR-1 fabricado pela empresa Regency nos EUA em 1955, utilizando quatro transistores da Texas Instruments.



O primeiro rádio Sony, lançado em 1955, quando a empresa ainda tinha o longo nome Tokyo Tsushin Kogyo Kabushiki Kaisha. O nome Sony aparece acima do botão de sintonia e na caixa está gravada a palavra "TRANSISTORIZED".



Rádio modelo TR-72 da Sony, foi o segundo modelo fabricado pela empresa, em 1956. Era uma versão "de luxo" do modelo anterior, que apesar do sucesso comercial alcançado era considerado extremamente feio, além do botão de sintonia ser de ajuste muito difícil.



Rádio modelo TR-63 fabricado em 1957 pela Sony. Era o menor rádio-receptor do mundo na ocasião e a empresa anunciava-o como possível de ser colocado no bolso da camisa. No entanto, o rádio era um pouco maior que um bolso padrão de camisa masculina. A Sony mandou então confeccionar camisas com bolsos um pouco maiores que o normal, para que os vendedores pudessem demonstrar como era simples colocar o rádio no bolso.



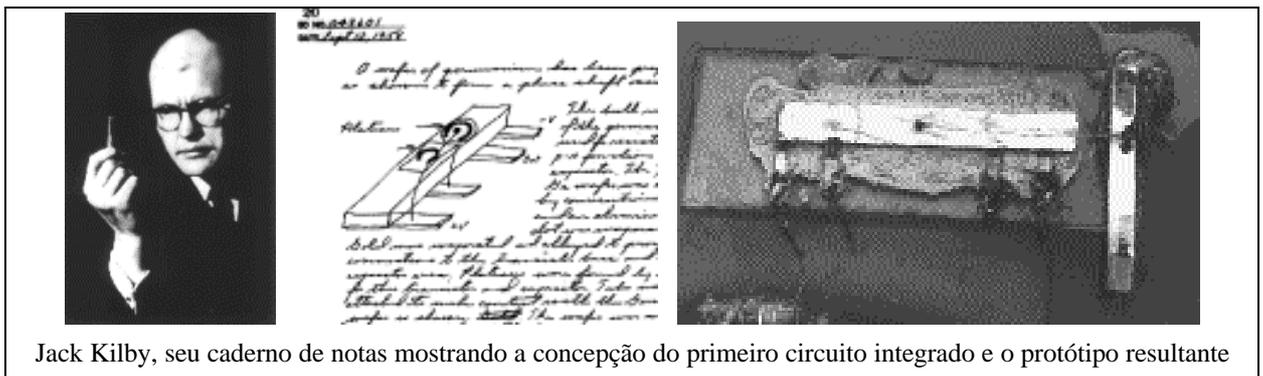
Rádio Sony modelo TR-608 de 1958, com seis transistores e já utilizando o logotipo com o qual a empresa ficou mundialmente conhecida.



A primeira TV inteiramente transistorizada, lançada pela Sony em maio de 1960 e o primeiro walkman, apresentado pela Sony em 1979. Os escritórios da Sony na Inglaterra e nos EUA reclamaram que a palavra "walkman" era incorreta sob o ponto de vista gramatical e sugeriram Stow Away e Sound-About, mas o nome walkman já havia se tornado popular.

3. Entram em cena os Circuitos Integrados

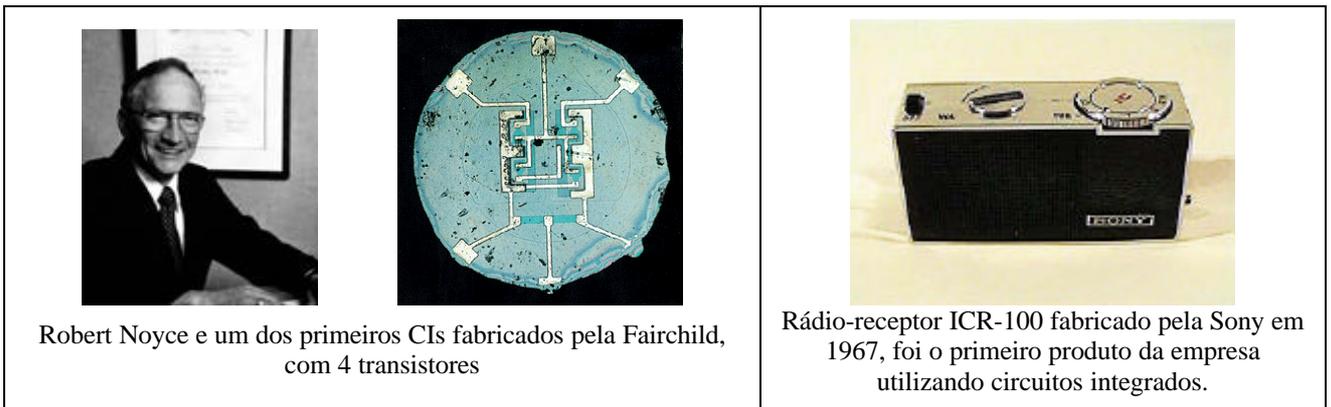
Os primeiros transistores eram fabricados usando o germânio como material semiconductor, pois durante a Segunda Guerra Mundial haviam sido desenvolvida uma metodologia de purificação desse material. As propriedades condutoras dos materiais semicondutores são extremamente sensíveis à presença de outros elementos na estrutura cristalina, mesmo que em quantidade reduzida. Para que um cristal seja útil como semiconductor, as impurezas devem estar no máximo presentes na proporção de um único átomo a cada um bilhão de átomos.



Jack Kilby, seu caderno de notas mostrando a concepção do primeiro circuito integrado e o protótipo resultante

Durante a década de 1950, no entanto, foram desenvolvidos métodos de purificação do silício, de modo a obter cristais desse material suficiente puros para a fabricação de transistores e diodos. Dessa forma, a partir de 1960 o silício começou a ser usado como material semiconductor e rapidamente tornou-se preferido em detrimento do germânio, pois o silício é muito mais abundante na natureza do que o germânio. Além disso, o silício mantém suas propriedades semicondutoras em temperaturas mais elevadas do que o germânio; diodos de silício podem operar a temperaturas de até 200° C, enquanto que os diodos de germânio não funcionam em temperaturas acima de 85° C. Existe uma outra característica do silício, que não era importante nos primeiros anos de sua utilização pela indústria eletrônica, mas que mostrou-se crucial para o desenvolvimento de transistores de baixo custo e para fabricação dos circuitos integrados: o silício, ao contrário do germânio, combina-se em alta temperatura com o oxigênio formando uma camada de óxido de

silício (SiO_2) altamente aderente ao cristal. No caso do germânio, a camada de óxido também se forma mas é solúvel em água. O óxido de silício "crescido" sobre o cristal de silício forma uma camada eletricamente isolante mas que pode ser retirada de forma seletiva em algumas áreas através de ataque pelo ácido fluorídrico. Forma-se assim "janelas" por onde pode-se adicionar átomos de outros elementos ao cristal de silício, criando regiões com característica de condução "P" ou "N". Dessa forma, através de um processo de fotolitografia de alta densidade formam-se transistores e diodos sobre a superfície do cristal de silício, conhecido como processo epitaxial. Devido à possibilidade de se automatizar totalmente o processo de fotolitografia, os transistores construídos pela técnica epitaxial tem custo de produção baixíssimo ao mesmo tempo que suas características elétricas são bastante definidas. Dessa forma, atualmente as indústrias podem fabricar milhões de transistores praticamente idênticos, com custo de poucos centavos, em visível contraste com os primeiros transistores que eram montados individualmente e tinham características elétricas extremamente variáveis.



Na década de 1960 as válvulas à vácuo vinham sendo rapidamente substituídas pelos transistores. Além do custo de fabricação cada vez mais baixo, os transistores mostravam-se com tempo de vida mais longo que as válvulas e permitiam a fabricação de equipamentos menores e mais confiáveis. Em 1957 os EUA lançam o seu primeiro satélite orbital, o "Explorer" contendo transistores fabricados pela Texas Instruments., A corrida armamentista entre os EUA e a União Soviética ocorrida dessa época, conhecida como "guerra fria", demandava equipamentos eletrônicos sofisticados e os setores militares norte-americanos incentivam pesquisas nas indústrias eletrônicas e nos institutos universitários no sentido de obter transistores cada vez menores e mais confiáveis. Nesse aspecto, desejava-se ter sistemas de cálculo eletrônico para serem empregados em mísseis balísticos de longo alcance, porém ao se reunir milhares de transistores nesses sistemas a confiabilidade era praticamente nula. A demanda por esses "computadores de bordo" fez com que fosse desenvolvido o circuito integrado (CI), reunindo num único cristal de silício vários transistores formando um circuito eletrônico completo. O circuito integrado foi desenvolvido de forma independente na empresa Texas Instruments Jack Kilby em 1958 e por Jean Hoerni e Robert Noyce na Fairchild Semiconductor em 1959. A Kilby é dado usualmente o crédito pela idéia de se integrar diversos dispositivos num único cristal de semiconductor e provar que podia-se fazer resistores e capacitores sobre tais cristais. No entanto, Kilby fez suas experiências com germânio e não chegou a um circuito integrado funcional. Noyce, por outro lado, é reconhecido como o responsável pelo desenvolvimento do método de fabricação dos elementos individuais sobre uma pastilha de silício. Já Jean Hoerni foi o responsável pela idéia da técnica de fabricação *epitaxial*, que passou a ser usada em vez do processo anterior conhecido como *mesa*, e que de certa forma conduziu ao circuito integrado. Na verdade, Noyce afirmou que quando viu saírem em 1959 das linhas de produção da Fairchild as primeiras pastilhas de silício com dezenas de transistores epitaxiais lado a lado, teve a idéia de interliga-los e formar um circuito eletrônico integrado. O primeiro circuito integrado fabricado em série pela Fairchild, em 1960, continha 4 transistores, sobre uma pastilha de cristal de silício de aproximadamente 3mm x 3mm e era um *flip-flop* para uso militar. O número de elementos e a complexidade dos circuitos cresceu rapidamente e em 1970 já era possível colocar 1000 transistores no mesmo "chip" de 1960 e, mais importante, por um custo

menor. Em 1964 a Texas Instruments estava fabricando circuitos integrados para aparelhos de surdez e em 1967 a Sony lançou o primeiro rádio-receptor utilizando circuitos integrados.



Aparelho de surdez com circuitos integrados, lançado em 1964.

4. Microprocessadores

Em 1968 Robert Noyce deixou a Fairchild para fundar sua própria empresa destinada a projetar circuitos integrados, em associação com um colega na Fairchild, Gordon Moore, batizando a sua pequena empresa de *Intel Corporation*. A Intel era inovativa no sentido de que não fabricava, no início,

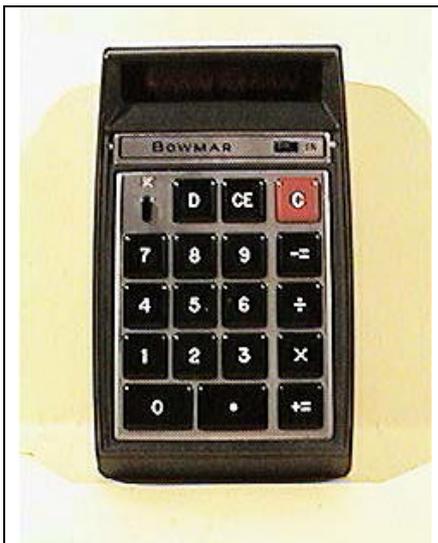


A calculadora Busicom de 1970, empregando o microprocessador Intel 4004.

transistores ou circuitos integrados, mas simplesmente projetava-os para serem fabricados por outras empresas. Nesse sentido, foi a primeira *design house* de circuitos integrados. Paralelamente, em 1969 Frederic Faggin na Fairchild desenvolveu o transistor metal-óxido-semicondutor com terminal de *gate* isolado, chamado MOSFET. A Intel logo viu que o MOSFET facilitava o projeto de circuitos integrados e resolveu adotá-lo em seus projetos. Um dos primeiros trabalhos da Intel foi uma encomenda de um fabricante japonês de calculadoras eletro-mecânicas chamado ETI Busicom, que desejava fabricar uma calculadora eletrônica de mesa. Para isso, listou-se um conjunto de 12 circuitos integrados que teriam que ser projetados. No entanto um dos engenheiros de projetos da Intel, Marcian Edward ("Ted") Hoff propôs uma estratégia inteiramente diferente: Hoff argumentou que o custo de fabricação de 12 circuitos integrados diferentes seria muito elevado e tornaria inviável o preço final da calculadora Busicom. Em contrapartida, sugeriu que fossem projetados quatro circuitos integrados: um deles seria uma memória de acesso aleatório (RAM), outro uma memória de conteúdo fixo (ROM), o terceiro uma unidade de lógica e aritmética e o quarto um registrador de deslocamento (*shift register*) para atuar como interface de entrada e saída. O conjunto todo operaria de acordo com as instruções gravadas na ROM, podendo-se dessa forma executar instruções complexas dividindo-as em uma seqüência de instruções mais simples. A idéia foi apresentada à ETI Busicom que aceitou que a Intel tocasse em frente o projeto, pelo que pagaria ao seu final a quantia de US\$ 60 mil. Noyce e Moore contrataram Faggin, que ainda trabalhava na Fairchild, para ajudar no projeto da Busicom e o projeto da Intel foi finalizado em cerca de um ano. Em 1971 começou a produção dos circuitos Intel 4001 (2k ROM), 4002 (320-bit RAM), 4003 (10-bit I/O *shift-register*) e 4004, uma unidade de processamento de 4 *bits*, para a Busicom. A calculadora era extremamente poderosa e versátil para a época e, apesar de cada unidade custar mais de US\$ 2 mil, vendeu cerca de 100 mil unidades, com grande sucesso comercial.

A Intel soube perceber que o circuito 4004 era uma atraente novidade, pois era um circuito que podia ser usado em várias funções diferentes de acordo com as instruções que estivessem gravadas na ROM. Na verdade o 4004 era um autêntico computador, que tinha mais capacidade de cálculo que o famoso computador ENIAC de 1946, que ocupava um salão de enormes dimensões. Havia no entanto uma questão legal no aspecto que a Intel havia sido contratada pela Busicom e dessa forma o projeto do 4004 não lhe pertencia realmente. Examinando a documentação do contrato, verificou-se que existia uma brecha legal que permitiria a Intel vender circuitos 4004 para outras finalidades que não fossem calculadoras eletrônicas. Consultada sobre o assunto a Busicom concordou em devolver à Intel os direitos autorais sobre o 4004 sob a condição de receber os circuitos integrados por um custo reduzido e a garantia da Intel que o novo circuito integrado não seria usado para construir calculadoras. Dessa forma a empresa japonesa deixou escapar de suas mãos um produto revolucionário. A Intel cunhou então em 1970 o termo "microprocessador" para

seu novo produto e começou a comercializar o 4004, que se tornou assim o carro-chefe de uma extraordinária linha de produtos, com enormes implicações econômicas e sociais.



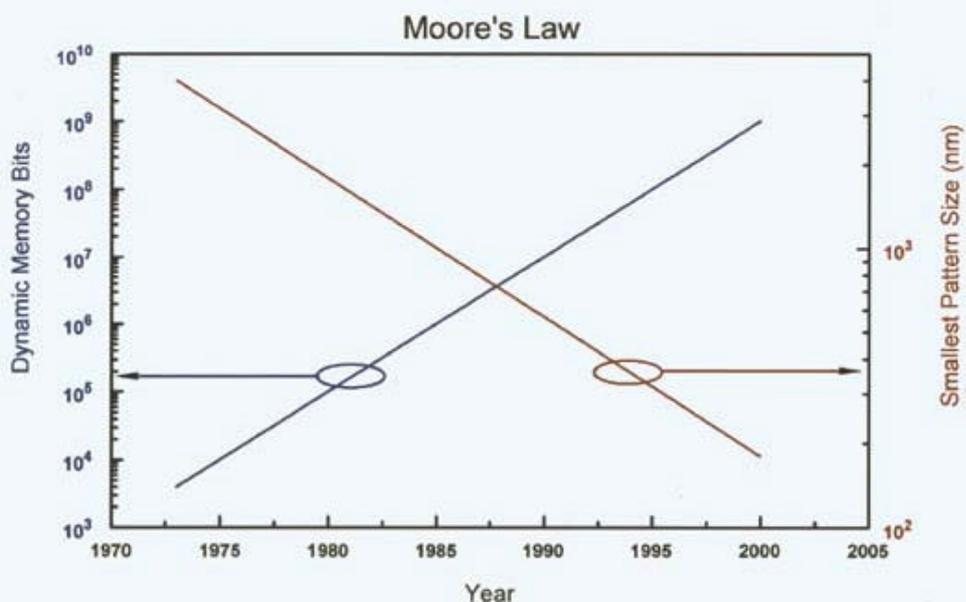
A primeira calculadora eletrônica portátil, a Bowmar 901B, de 1971.



A Datamath de 1971, a primeira calculadora eletrônica produzida pela Texas Instruments.



Em 1972 a Hewlett-Packard lançou a HP-35, a primeira calculadora eletrônica portátil a incorporar funções científicas.



Gordon Moore e o diagrama da "Lei de Moore", que mostra o aumento da capacidade das memórias dinâmicas e redução do tamanho dos dispositivos semicondutores.

Até a chegada em cena dos microprocessadores, os computadores eram máquinas destinadas primariamente para processamento de dados e cálculos científicos. Seu tamanho variava desde o equivalente a um refrigerador pequeno até *mainframes* que ocupavam uma sala de grandes dimensões. Os microprocessadores permitiram não só a redução do tamanho dos computadores mas também o emprego de computadores em outras atividades, tais como o controle de um torno mecânico ou o movimento de um robô industrial. Gordon Moore, que fundou a Intel junto com Robert Noyce, verificou que a complexidade dos circuitos integrados e a capacidade das memórias eletrônicas crescia a cada ano e elaborou uma "lei" que leva seu nome e permanece válida até hoje, publicada pela primeira vez num artigo que ele escreveu para revista *Electronics* de 19 de abril de 1965. Nessa época Moore ainda trabalhava na Fairchild e escreveu o artigo a convite da diretoria da revista, que comemorava na ocasião 35 anos. No artigo, Moore previu que quando a revista

comemorasse seu 45^o aniversário (ou seja, em 1975) seria possível colocar 65000 transistores em um único circuito integrado. De fato, em 1975 Moore, já como diretor da INTEL, compareceu ao *International Electron Devices Meeting* do IEEE e mostrou uma memória recém-lançada na ocasião, com cerca de 64000 transistores. Suas previsões ficaram então conhecidas como *lei de Moore*, que estabelece que o número de componentes por circuito integrado dobra a cada dezoito meses, ou quadruplica a cada três anos. Em forma matemática tem-se:

$$(\text{Componentes por } chip) = 2^{(\text{ano}-1975)/1,5}$$

5. Microcomputadores

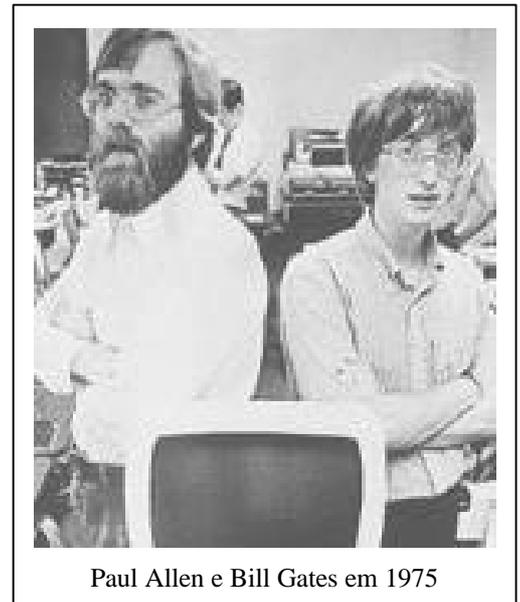
O que torna o microprocessador interessante é justamente sua capacidade de ser programável. Por exemplo, o 4004 da Intel chamou a atenção dos cientistas da NASA, que o utilizaram na espaçonave Jupiter 10. A Intel, no entanto, viu que havia demanda por um microprocessador mais potente. Como resultado, em 1972 a Intel lançou seu novo microprocessador de 8 bits, projetado por Faggin, que para mostrar sua evolução em relação ao 4004 foi batizado de 8008. O 8008 tinha alguns problemas de interfaceamento com as memórias e em 1974 a Intel lançou o 8080, ligeiramente melhor que o 8008.

Les Solomon, editor da revista norte-americana *Popular Electronics*, considerou que havia suficiente interesse do público pelo 8080 para lançar alguns artigos descrevendo o produto. Salomon achou então que poderia colocar-se a frente de revistas concorrentes publicando a descrição de um *kit* de microcomputador que pudesse ser montado pelos seus leitores. Buscou o auxílio do seu amigo Edward (Ed) Roberts, que havia sido seu colega na Força Aérea e possuía uma empresa chamada MITS (Micro Instrumentation Telemetry Systems), que fabricava calculadoras eletrônicas. Os negócios da MITS estavam indo muito mal desde que a Texas Instruments apresentou sua linha de calculadoras em 1972, que eram muito mais poderosas que as da MITS e custavam metade do preço. Junto com Salomon, Roberts construiu então um microcomputador usando o microprocessador Intel 8080. A filha de Salomon, que era fã do seriado *Jornada nas Estrelas*, batizou o microcomputador de *Altair*, que era o nome de um dos planetas visitados pela espaçonave *Enterprise*.

A montagem do primeiro *Altair* foi terminada no final de 1974 e Roberts despachou o microcomputador para o escritório da Popular Electronics, para que Salomon escrevesse o artigo e fizesse as fotos para a revista. Misteriosamente o microcomputador extraviou-se e jamais chegou as mãos de Salomon, que estava planejando publicar o artigo no exemplar de Janeiro de 1975. Sem tempo hábil para montar um segundo protótipo, Roberts levou uma caixa vazia, somente com o painel do *Altair* instalado, para um fotógrafo e despachou as fotos para Salomon. Assim, o *Altair* que apareceu na capa da revista *Popular Electronics* de Janeiro de 1975 nada mais é que uma caixa vazia e Salomon teve que escrever o artigo baseando-se somente nas informações de Roberts.

Imediatamente após a publicação do artigo na *Popular Electronics* a MITS foi inundada com uma avalanche de pedidos. O *Altair* era vendido por US\$ 395, na forma de um *kit* semi-pronto, com a montagem final a cargo do comprador. Roberts havia pensado em vender no máximo 400 unidades do *Altair* e só no primeiro mês tinha em mãos mais de 800 encomendas; sua pequena empresa não estava preparada para tal demanda e os pedidos demoravam meses para serem atendidos. Havia também problemas de produção e era relativamente comum que o microcomputador simplesmente não funcionasse depois de montado. Felizmente o público que comprava os primeiros *kits* estava acostumado às montagens eletrônicas e logo surgiram outros artigos na *Popular Electronics* descrevendo extensivamente causas de defeitos mais comuns e suas soluções.

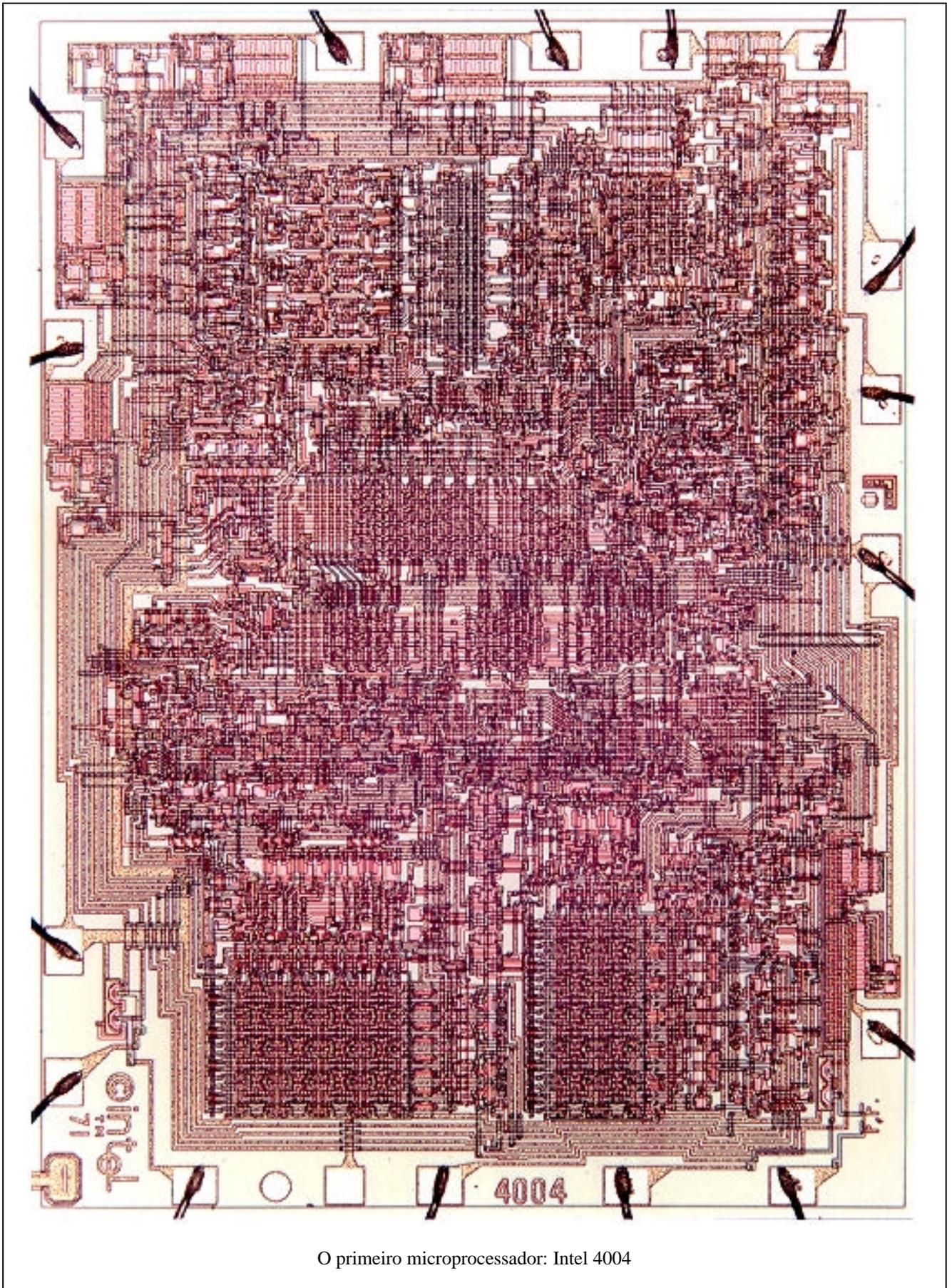
O *Altair* era um microcomputador bastante primitivo pelos padrões atuais. Não tinha monitor ou teclado e a programação era efetuada simplesmente ligando e desligando os interruptores do painel. Os resultados também eram mostrados somente com um conjunto de LEDs no painel. Diversos entusiastas fizeram adaptações de teclados e de leitoras de fitas de papel perfurado nos *Altair*, para facilitar sua programação. Entre eles, dois estudantes da Califórnia chamados Paul Allen e Bill Gates conseguiram adaptar a linguagem de programação BASIC para uso nos *Altair*. Roberts ficou bastante impressionado com o trabalho dos dois e contratou Paul Allen como Diretor de Software da pequena MITS em 1975. Mais tarde, no mesmo ano, Bill Gates, então com 19 anos, também foi contratado pela MITS como programador, em tempo parcial.



Paul Allen e Bill Gates em 1975

Ao final de 1976 a MITS estava em sérias dificuldades. Além dos pedidos dos *Altair* continuarem se acumulando, o microcomputador começava a ser procurado por um público que não estava acostumado a montagens eletrônicas. Assim, quando os *Altair* apresentavam seus problemas crônicos de funcionamento a MITS recebia milhares de reclamações. Allen e Gates acabaram saindo da MITS no final de 1976 para fundarem sua própria empresa, a Microsoft. Também outras empresas, tendo em vista o sucesso do *Altair*, lançaram microcomputadores mais "amigáveis", como os fabricados pela Commodore e Tandy. Apesar de serem mais caros que o *Altair*, esses microcomputadores vinham com teclado e dispositivos de memória, podendo ser conectados a um televisor doméstico para servir de monitor. Roberts acabou vendendo a MITS no final de 1977 e, decepcionado com a eletrônica, resolveu estudar medicina e tornou-se anos mais tarde um médico pediatra. Cerca de 50 mil *Altair* foram vendidos em pouco mais de 2 anos.

Placa de circuito impresso e aspecto externo do microcomputador *Altair 8800*, apresentado na revista *Popular Electronics* de Janeiro de 1975, utilizando o microprocessador Intel 8080. Na verdade a foto que aparece na capa da revista é apenas uma caixa vazia, porquê o primeiro *Altair* foi extraviado durante o transporte até a editora.

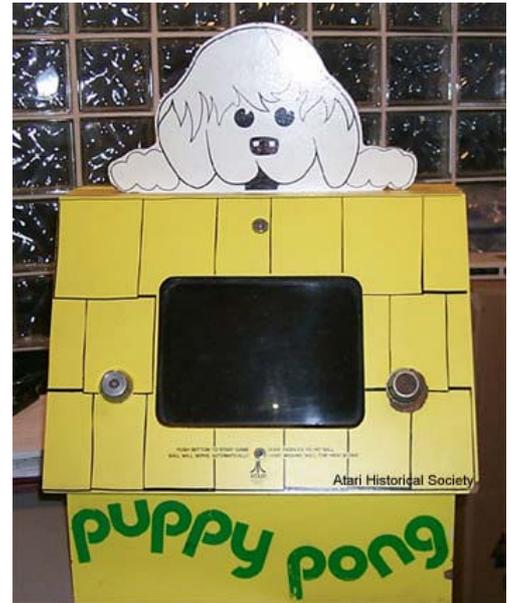


O primeiro microprocessador: Intel 4004



O primeiro jogo de "Pong" da Atari, construído em 1972 e instalado num bar em Sunnyvale, Califórnia. A vista traseira mostra que o "monitor" na verdade era um televisor preto-e-branco fabricado pela Hitachi.

Um outro produto que surgiu de forma curiosa com os microprocessadores foram os vídeo-jogos. Nolan Bushnell era um estudante universitário que decidiu adaptar um jogo que funcionava num grande computador IBM da Universidade da Califórnia para o microprocessador Intel 4004. Essa sua primeira tentativa, que ele batizou de *Computer Space*, justificou que após terminar seu curso ele fundasse uma pequena empresa a qual batizou com o estranho nome de Syzygy. Apesar de ter feito algum sucesso entre seus colegas, o jogo foi considerado muito complicado. Bushnell então aceitou a sugestão do seu amigo Al Alcorn de que um jogo eletrônico deveria ser simples o suficiente para ser operado por um bêbado. Em novembro de 1972 Bushnell e Alcorn conseguiram que o proprietário do bar Andy Capp's Tavern, na cidade de Sunnyvale na Califórnia deixassem eles instalarem no local um estranho caixote vermelho onde se destacava um monitor. Como os monitores de computador eram muito caros, na verdade o "monitor" tratava-se de um televisor preto-e-branco Hitachi. A máquina tinha uma caixa coletora de moedas, adaptada de uma máquina de lavar roupas automática e fora batizada de PONG. O jogo era extremamente simples, com botões que serviam para movimentar dois pequenos traços na tela, num jogo de ping-pong eletrônico. Para jogar era necessário inserir uma moeda de 25 centavos, que fazia a máquina funcionar por cerca de 5 minutos. Após dois dias o proprietário do bar telefonou para Alcorn avisando que a máquina não estava mais funcionando. Ao abrir a máquina, Alcorn descobriu que a caixa coletora estava abarrotada de moedas, razão pela qual a máquina havia deixado de funcionar. Viram então que tinham uma boa idéia nas mãos; o nome da empresa foi trocado para *Atari* e iniciou-se uma nova indústria eletrônica que por certo os pioneiros da eletrônica não tinham imaginado que pudesse um dia vir a existir. Além do PONG para bares, a Atari produzia inicialmente também versões infantis chamadas de *Snoopy Pong* e *Puppy Pong*, que destinavam-se a serem instaladas em salas de espera de pediatras, para entreter as crianças. Essa tentativa mostrou a Bushnell e Alcorn o potencial que existia nos vídeo-jogos para o público infantil e adolescente, que tornou-se então o principal alvo da empresa. A Atari é considerada a responsável pela entrada dos microcomputadores nos lares de todo o mundo, através de vídeo-jogos. Dessa forma, o microcomputador começou a ser visto pelos jovens como objetos divertidos e interessantes, revolucionando a computação eletrônica.



Video-jogos de PONG da Atari, produzidos para o público infantil.

6. Conclusões

Esta é uma história que está sendo feita a cada dia. Além de ter se tornado a principal invenção do século XX, o transistor revolucionou a própria indústria eletrônica. Por exemplo, ao término da Segunda Guerra Mundial o campo da eletrônica era dominado por um conjunto de empresas norte americanas: General Electric, RCA, Raytheon, Sylvania, Philco-Ford e Westinghouse. Observa-se portanto que o transistor foi cruel com as empresas norte americanas, que aparentemente não souberam adaptar-se à nova tecnologia e deram lugar a empresas antes inexpressivas ou totalmente novas. Já na Europa, a holandesa Philips e a alemã Siemens souberam tomar partido da nova invenção e mantêm-se de forma ativa no mercado de semicondutores. Nos EUA, ao contrário, a Intel é um vívido exemplo de uma empresa relativamente nova, que cresceu junto com a tecnologia dos circuitos integrados e dos microcomputadores de forma fantástica, a partir de uma idéia revolucionária. Sobre o futuro, só se pode dizer que será mais fantástico do que podemos imaginar.

Sobre o autor:

Ewaldo Luiz de Mattos Mehl (mehl@eletr.ufpr.br) é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba. Possui cursos de Mestrado e Doutorado e desde 1982 é professor do Curso de Engenharia Elétrica na UFPR.