

Transístor

70 anos em 2017

No princípio da década de 40 do século 20, os Laboratórios da Bell, Bell Labs (U.S.A.), tinham obtido muito sucesso na realização de díodos detetores/misturadores de baixo ruído que eram necessários para os recetores de radar utilizados na 2ª guerra mundial. Estes díodos funcionavam bem na banda S (2 a 4 GHz) e na banda X (7 a 12 GHz), onde as válvulas eletrónicas da época não tinham um bom desempenho.

Os Bell Labs voltaram às ideias de J. Bose (1904 – detetor de ponta metálica sobre galena) e de J. Pickard (1906 – detetor de ponta metálica sobre silício) que, a partir dos anos 20, tinham sido abandonadas em detrimento dos díodos de vácuo de J. A. Fleming e do tríodo de Lee de Forest, que tinham melhor desempenho como detetores de sinais de rádio modulados em CW e AM. Por volta de 1900 os detetores rádio de contacto metálico pontual com semiconductor eram os mais avançados, após cerca de 20 anos de pesquisa extremamente criativa sobre detetores de rádio, desde o célebre primeiro detetor de rádio de Hertz- o anel de Hertz ou “*Hertz Micrometer Spark Gap or Resonator*” de que existe uma réplica no Museu Faraday do IST (faz parte da experiência de Hertz que demonstrou a existência de ondas eletromagnéticas e da experiência do recetor transcontinental de Marconi).

[Pode ver neste livro os trabalhos desenvolvidos nestes anos de intensa criatividade.](#)

[Veja aqui um pouco da história dos semicondutores.](#)

Os novos díodos eram baseados no contacto de uma ponta metálica com um bloco de germânio cristalino dopado. Eram embutidos numa estrutura coaxial com impedância característica bem determinada, tendo, deste modo, resolvido os problemas postos pelos recetores de radar. O díodo mais usado foi o 1N21 tendo sido comercializado pela empresa Sylvania e por outros fabricantes sob licença. Este tipo de díodos era ajustado individualmente através de um parafuso embutido na face esquerda do corpo do díodo (ver figura).



Díodo 1n21 usado em micro-ondas.

O transístor de contactos pontuais metálicos

No final de 1947, nos Bell Labs, Walter Brattain e John Bardeen desenvolvem o primeiro transístor de contactos pontuais metálicos sobre germânio cristalino semiconductor. Trabalhavam numa equipa de investigação sobre semicondutores que tentava fazer dispositivos eletrónicos com estes materiais. Esta equipa era dirigida pelo cientista William Shockley.

Antes de trabalhar nos Laboratórios Bell, Walter Brattain estudou, durante vários anos, retificadores de ponta metálica sobre óxido de cobre (semicondutor) e, como era um excelente experimentalista, tinha a ideia de introduzir um terceiro elétrodo na vizinhança muito próxima da ponta metálica em contacto com o óxido de cobre - uma espécie de grelha dos tubos de vácuo inserida entre o cátodo e a placa, com o objetivo de poder amplificar sinais. Nos laboratórios Bell encontrou em John Bardeen o apoio necessário para concretizar esta ideia e trabalharam juntos na realização experimental do tal dispositivo concebido por Brattain, mas agora usando germânio dopado tipo N como semicondutor. Este trabalho correu um pouco à revelia do chefe de equipa William Shockley que era mais teórico, trabalhava muito em casa, e perseguia a ideia de conceber um transístor de junção monolítico, apoiando-se nos trabalhos de Walter Schotky e de Neville Mott sobre as barreiras de potencial entre metais e semicondutores. Shockley veio a conseguir este feito em 1948.

No dia 16 de Dezembro de 1947, depois de um mês seguido de muitos dispositivos construídos e muitos falhanços, Brattain usou o seu último dispositivo numa montagem amplificadora semelhante à dos amplificadores com tríodos e conseguiu obter ganho de tensão pela primeira vez. *"This thing's got gain"*, exclamou. J Bardeen tinha proposto a Brattain que a distância entre os dois fios em contacto com o semicondutor teria de ser menor do que 50 um, muito menor do que o diâmetro dos fios que eles poderiam dispor. Brattain teve a ideia de usar um pequeno prisma triangular de plástico, ao qual colou uma folha de ouro em duas faces contíguas. Com uma lâmina cortou a folha de ouro na aresta, conseguindo uma separação entre as duas metades inferior a 50 um. Estavam feitos os dois elétrodos que mais tarde iriam ser chamados de emissor e de coletor do novo dispositivo a que se veio chamar transístor, ver figura.



**Fotografia do primeiro transístor de contactos metálicos pontuais.
O transístor tinha cerca de 3 cm de altura.**

[Pode ver aqui uma cópia dos apontamentos de Brattain feitos durante esta pesquisa.](#)

[Veja, neste vídeo, como funciona este tipo de transístor.](#)

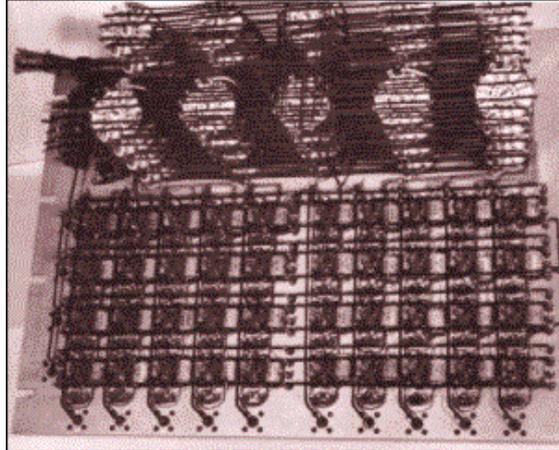
O Jornal New York Times publicou uma pequena notícia no dia 1 de julho de 1948, na página 46, um dia depois dos Bell Labs apresentarem ao mundo o novo dispositivo, denominado transístor como resultado de uma votação para o nome que decorreu internamente. Os jornalistas do NY Times passaram ao lado da enorme importância da descoberta que estava a ser apresentada.

O primeiro artigo publicado que descrevia tipo de transístores foi publicado pela revista *Electronics* em setembro de 1948. [Pode ler aqui esse artigo.](#)

Se quiser dar uma vista de olhos na revista completa, [pode lê-la aqui.](#)

Entretanto os Bell Labs venderam 20 patentes do transístor a 25 000 dólares cada.

Nos Bell Labs, durante 1949, desenvolveram-se muitos testes com transístores mas a primeira aplicação funcional parece ter sido uma matriz de comutação (4x10), concebida por Walter Mac Williams, que usava 40 transístores de contacto pontual num cristal de germânio. Este circuito fazia parte de um computador, simulador de guerra, e foi baseado na primeira geração de transístores (designados por tipo A) desenvolvidos nos Bell Labs.



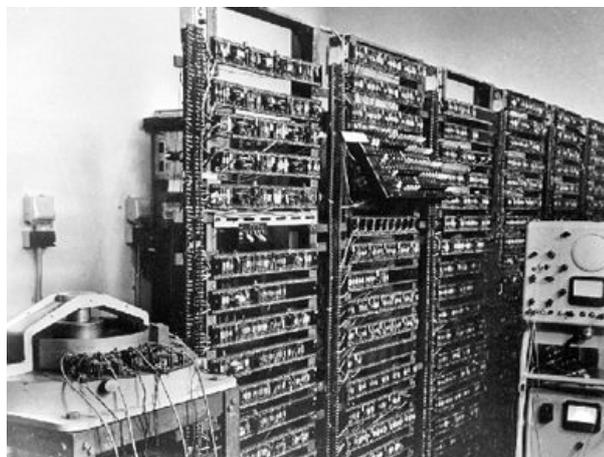
Matriz de comutação transistorizada usada num simulador de guerra (1949).

Na Europa, nos anos 1948 e 1949, apareceram várias aplicações de transístores feitos com a tecnologia alternativa à dos Bell Labs, desenvolvida pelos investigadores Herbert Matare e Heinrich Welker.

[Veja aqui algumas dessas aplicações realizadas na Europa.](#)

A partir de 1952 começaram a aparecer vários aparelhos protótipos com transístores, nomeadamente na realização de computadores mais compactos dos que existiam e que eram baseados em válvulas eletrónicas.

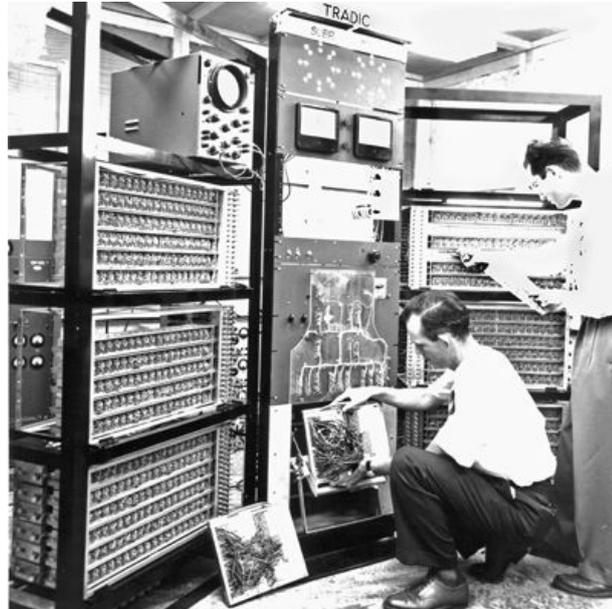
Surgiram vários computadores transistorizados mas realça-se aqui o Manchester TC (U.K.) e o TRADIC (U.S.A.).



Computador Manchester TC (1952).

O Manchester TC “Transistor Computer” era uma máquina de 48 bit que usava 92 transístores de contacto pontual e 550 díodos fabricados pela STC (U.K.).

Nos Bell Labs desenvolveu-se o computador TRADIC (TRAnsistor DIgital Computer) para a força aérea estado-unidense. Usava 700 transístores de contacto e 10 000 díodos e funcionava a 1 MHz.



Computador TRADIC, Bell Labs, (1953).

Nesta época os computadores, por serem protótipos, não eram uma alternativa interessante para o escoamento dos transístores que estavam a ser produzidos. O facto de os transístores serem pequenos facilitava o seu uso em aparelhos que idealmente deveriam ser muito pequenos, como os aparelhos de ajuda ao combate da surdez (aparelhos auditivos).

O primeiro aparelho auditivo a ser comercializado foi o modelo Sonotone 1010, mas o primeiro a ser desenvolvido foi o Maico “O” em 1952/53. Todavia, a Maico teve problemas com os testes do aparelho que fizeram com que só aparecesse no mercado em 1953, tendo sido ultrapassado por um modelo híbrido (válvulas e um transístor), o Sonotone 1010.



Maico - modelo “O” (1953).

A Maico apresentou o seu modelo “O” e motivou uma notícia no *“The Wall Street Journal”*:

Aids the Hard-of-Hearing

By Staff Reporter of THE WALL STREET JOURNAL
Jan 9, 1953 pg. 5

NEW YORK—A hearing aid, substituting transistors for vacuum tubes and powered by a water-thin mercury capsule in place of a battery, was demonstrated here by Maico, Inc., of Minneapolis.

Leland Watson, Maico president, claims this is the first time transistors have been used exclusively.

Transistors are minute in size and are made of the chemical element, germanium. They are metallic in appearance and use no heated element.

"Transistors were developed about four years ago," reports Mr. Watson, "and they haven't been in use long enough to wear out. Laboratory tests, however, indicate a minimum life of about 90,000 hours."

The Maico aid is about the size of a cigarette lighter and contains a drawer to hold the mercury capsule. Mr. Watson says the capsule had 75 hours of "life," estimates it will sell for 25 cents and claims it can be reactivated "for a few cents."

To be known as the Transist-Ear, the aid will sell for \$250 to \$300, Mr. Watson says.

Em 1953, a empresa Raytheon (que foi líder na produção de transistores até 1955) lança o CK718, o primeiro transistor a ser produzido em grandes quantidades. Forneceu os três transistores para o aparelho de surdez da Mayco "O", que foi vendido por cerca de 250 dólares U.S.A. (que na época era muito dinheiro).

O Sonotone 1010, em 1952, usava o transistor 1331 no andar de saída de áudio. Este andar era precedido de um circuito amplificador realizado com duas válvulas eletrônicas miniatura (*pencil tube*).



Primeiro aparelho auditivo usando um transistor (1952).

O primeiro aparelho da Sonotone, completamente transistorizado, (três transistores), foi o modelo 1111.

Em 1954 praticamente todos os aparelhos auditivos eram realizados com transístores e com um microfone altamente sensível, como era o microfone de carbono. Todavia, o mercado mundial dos aparelhos auditivos também era pequeno para proporcionar grandes volumes de produção dos transístores, o que permitiria torná-los mais baratos.



Sonotone 1111. Usa 3 transístores, mede 78 mm x 45 mm x 16 mm e pesa 78 g.

Em 1955, um transistor custava cerca de 12 dólares (era muito caro) e as aplicações tinham um carácter muito amadorístico e de experimentação da nova tecnologia, sendo essencialmente promovidas por revistas de eletrónica.

As empresas produtoras de transístores viram no mercado dos rádios transistorizados de bolso uma grande oportunidade para escoarem os seus transístores.

Em 1953, a empresa alemã Intermettal Corp. apresentou, na feira de rádio de Dusseldorf um recetor transistorizado com quatro transístores de contacto metálico, feitos com as técnicas desenvolvidas pelos franceses (alternativas às dos Bell Labs, ver [história dos semicondutores](#)) Herbert Matare e Heinrich Welker, mas este rádio não chegou a ser produzido industrialmente.



Rádio Intermettal na feira de Dusseldorf (1953).

Em 1954, a Texas Instruments, TI, iniciou um processo que visava permitir uma venda de grande número de transístores - o desenvolvimento e produção do primeiro rádio de bolso transistorizado – o Regency TR-1.

A TI foi uma das primeiras empresas a comprar as patentes dos Laboratórios Bell e começou a desenvolver um rádio transistorizado de bolso no qual foi utilizado pela primeira vez, em produção, um circuito impresso (patente de 1954 das forças armadas dos U.S.A., mas já havia protótipos desenvolvidos em 1920 e em 1947), um altifalante miniatura concebido pela estado-unidense Jensen, uma antena de ferrite e o desenvolvimento de uma série de componentes miniatura que na altura não estavam disponíveis no mercado.

Foi uma enorme aventura para a TI; [pode ver neste documento](#), que elaborámos, um relato detalhado das enormes dificuldades encontradas.

Em 1954, os japoneses da Sony (ainda era denominada por Tokyo Telecommunications Company e que também tinha comprado a patente dos transístores aos Bell Labs) apresentam relógios com transístores de germânio e aparelhos de surdez. Mas a sua grande aposta foi num rádio transistorizado de bolso, o TR-52, que pretendiam ver vendido durante 1955.

O TR-52 foi anunciado como o primeiro rádio transistorizado de bolso, mas esta façanha acabou por ser alcançada pelo rádio Regency TR-1 devido a problemas de fabricação encontrados pela Sony, que a levou a abandonar o projeto e a concentrar-se no novo rádio TR-55, que foi apresentado no mercado japonês em Agosto de 1955.

O TR-55 utiliza os primeiros transístores que foram produzidos pela Sony, em Janeiro de 1955 (nomeadamente um 2T51, dois 2T52, um 2T53 e um 2T12). Este rádio é muito raro e recentemente, já em 2017, foi leiloado um por 13 000 euros, no Ebay, pelo que já desistimos de vir a ser proprietários de um.



Sony TR-55 - dimensões: 140 mm x 89 mm x 38 mm, peso 0,6 kg (1955).

A Telefunken apressou-se a fazer o seu primeiro rádio transistorizado de bolso, também designado por modelo TR1, logo a seguir ao rádio estado-unidense Regency TR-1. Este rádio foi baseado nos

primeiros transístores comerciais alemães (cinco transístores do tipo OC602 e um do tipo OC604). Pode, de seguida, ver uma análise do funcionamento do rádio Telefunken TR1.

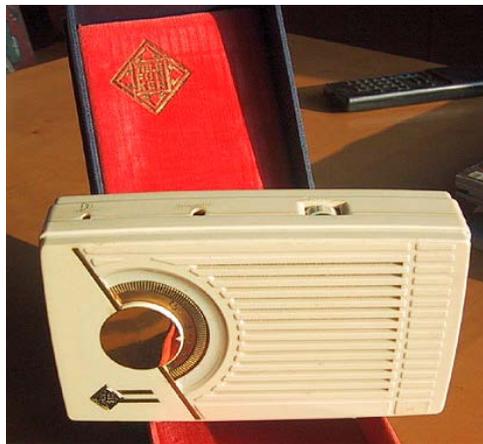
https://www.radiomuseum.org/forumdata/users/3814/D_Telefunken_TR1_Funkschau_5_1956_EN.pdf

Estes primeiros transístores europeus de junção eram introduzidos num invólucro de vidro (semelhante, mas mais pequeno, ao que era usado para as válvulas eletrónicas) e eram pintados de preto para reduzir a ação do efeito fotovoltaico que a luz tinha nos transístores.



Transístor OC604

Em Setembro de 1955, a Telefunken fez uma pré série dos rádios TR1 (100 unidades), que foram distribuídos por vários clientes com o objetivo de estes darem opinião sobre o seu desempenho. As dificuldades encontradas no ensaio dos rádios e na resolução dos problemas encontrados na sua produção levaram a Telefunken a apresentar o rádio apenas na feira de Hannover em Maio de 1956.



Rádio de bolso Telefunken TR1 (1955).

O TR1 da Telefunken utiliza o mesmo tipo de altifalante (Jensen) e a antena de ferrite que tinham sido desenvolvidas para o Regency TR-1. Utiliza também o mesmo tipo de pilha de 22,5 V, mas não usava circuito impresso, que era uma patente do exército estado-unidense. O Telefunken TR1 não teve grande sucesso comercial, tendo sido vendidos poucos rádios deste tipo, porque eram muito caros. Hoje em dia os preços a que os colecionadores os compram em leilões vão acima dos 3000 euros.

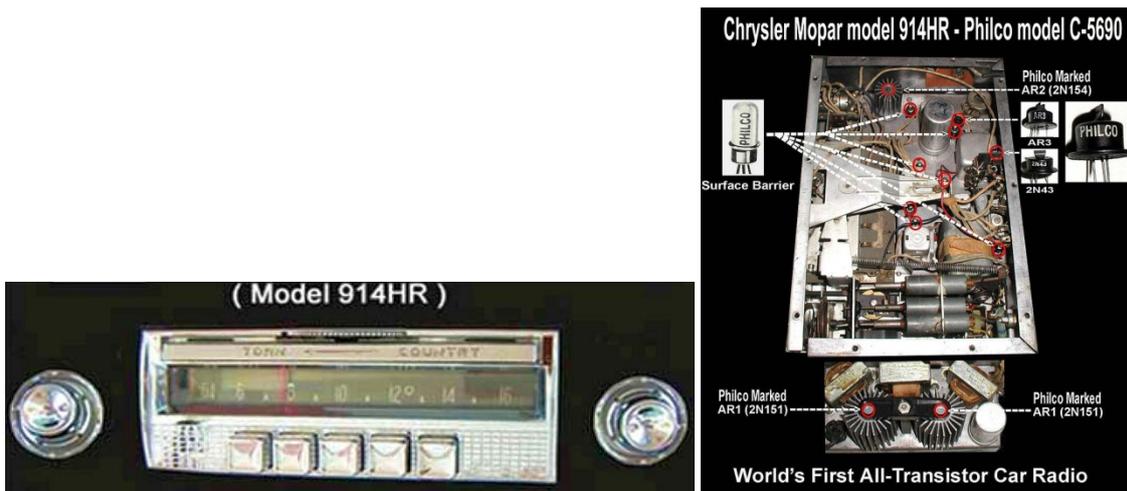
Seguiram-se vários rádios de bolso transistorizados pelos fabricantes Zenith, Emerson, etc. por preços da ordem dos 50 dólares, mas, em 1960, a Motorola conseguiu produzir um rádio de bolso, com 6 transistores, por cerca de 25 dólares.



Anúncio do rádio Motorola transistorizado (1960).

Outro mercado interessante era o dos autorrádios, o que levou a Philco e a Chrysler a desenvolverem o primeiro autorrádio transistorizado.

Em 1955 a Philco desenvolveu os primeiros transistores de junção de barreira superficial, que eram suficientemente rápidos e robustos para poderem ser usados nos circuitos de rádio frequência, RF, de um rádio e, em colaboração com a Chrysler, desenvolveram o [primeiro autorrádio transistorizado](#).



Chrysler Mopar, modelo 914HR (1955).

O rádio não era muito fiável devido às vibrações do carro e às variações de temperatura, e a Chrysler acabou por reconsiderar e introduzir, mais tarde, modelos híbridos (a válvulas e a transistores).

Outro mercado apetecível e interessante para o uso dos transistores foi o das televisões portáteis. Em 1958, a empresa estado-unidense Philco desenvolve novos tipos de transistores capazes de

funcionar em frequências muito elevadas e usou-os na realização do primeiro recetor de TV transistorizado e portátil - o Philco Safari 2010, em janeiro de 1959. Este televisor é baseado num pequeno tubo de raios catódicos, CRT, monocromático que projeta a imagem num espelho parabólico de modo ao espectador ver uma imagem ampliada.

[Veja aqui um vídeo produzido por Rick Hirsh](#) sobre este micro recetor de TV.

[Veja também este vídeo que mostra a TV a funcionar.](#)

Em 1960, a Sony apresenta a primeira TV portátil transistorizada com visão frontal da imagem (não é de projeção). Este aparelho de TV, a preto e branco, foi designado por TV-8-301, tem um CRT de oito polegadas e todos os circuitos se desenvolvem à volta do corpo do CRT, em placas modulares amovíveis para facilitar a reparação. A construção era muito robusta e a Sony reclamava *"built like a tank"*.

A Sony fez um enorme investimento no projeto desta TV pois teve de desenvolver praticamente todos os componentes miniatura. Foi o primeiro aparelho a usar o logo da Sony.



Sony TV-8-301 (1960).

Com esta TV a Sony concluiu que não dispunha de transístores muito rápidos e isso traduzia-se em perdas térmicas, sobreaquecimento e a necessidade usar tensões mais elevadas. Estas TVs eram pouco fiáveis e Sony começou logo a trabalhar nos novos transístores de silício do tipo mesa epitaxial.

Em 1962, a Sony concluiu a micro TV 5-303 usando os novos transístores e obtendo um consumo de energia muito reduzido. Uma das primeiras unidades da micro TV (com a norma estado-unidense de TV) foi entregue a Frank Sinatra que já a tinha visto no Japão e que tinha solicitado uma pois tinha ficado extremamente bem impressionado com esta TV, quando visitou a Sony em Abril de 1962.

A Sony abriu um salão de exposição na 5ª Av. de Nova Iorque em 1 de outubro de 1962 e a atração maior do salão foi a micro TV 5-303 que esgotou rapidamente. Seguiu-se um enorme sucesso de vendas da micro TV e a filial de Nova York vendeu mais do que todas as outras da Sony em todo o mundo. A micro TV 5-303 foi um dos grandes cartões-de-visita da Sony nos U.S.A, pois até aí só vendiam gravadores de fita magnética Sony-Superscope depois de firmarem um acordo de exclusividade de venda nos U.S.A. com os irmãos Tushinski, inventores do processo cinematográfico Superscope.

Hoje em dia consegue comprar no Ebay um micro TV 5-303 por cerca de 50 euros mas se quiser comprar uma TV-8-303 terá de pagar cerca de 400 euros (ou mais) e a probabilidade de encontrar uma a trabalhar é muito baixa, devido aos tipos de transístores que usava. Esta diferença de preços é um reflexo da quantidade de micros TVs que ainda hoje existem nos U.S.A.

[Pode ver aqui uma micro TV 5-303 a funcionar.](#)

A abertura do salão da Sony levou os nova-iorquinos a aglomerarem-se para verem os novos desenvolvimentos da Sony, que eram considerados extremamente inovadores, situação que hoje é comparável aos anúncios de novos produtos feitos por Steve Jobs da Apple ou por Elon Musk da Tesla.



Outubro de 1962- abertura do salão de exposição da Sony em Nova Iorque.

hold the future in your hand
with **SONY**
RESEARCH MAKES THE DIFFERENCE

THIS IS TELEVISION OF THE FUTURE. This is the personal set predicted for the decade of the Seventies. So light and compact you carry it with you like a book, wherever you go. Put it beside your bed, on your desk at the office, outdoors for picnicking on the patio, in the back of the car or on the boat. It plays anywhere on its own rechargeable battery pack, auto battery or AC, with a picture so bright and sharp ordinary sets pale by comparison. Weighing only 8 lbs., it is hardly larger than a telephone, yet it out-

performs standard receivers in sensitivity and durability. Available only in limited quantities, SONY brings it to you today through its advanced research in the epitaxial transistor, so powerful and sensitive it is used only in computers and other advanced electronic equipment—and the new Micro-TV. It would be no exaggeration to say that someday all TV will look like SONY Micro-TV. But why wait for someday? See it today at selected dealers. SONY Micro-TV list \$229.95. Optional battery pack.

See and hear the world famous SONY all-transistor, battery operated radios at selected dealers.
SONY CORPORATION OF AMERICA 514 Broadway, New York 12, N. Y.
In Canada: General Distributors Ltd. 791 Notre Dame Ave., Winnipeg.

Anúncio da TV 5-303 na Playboy (1962).

Em 1963, seis meses depois do lançamento da micro TV-5-303 outros fabricantes apresentaram TVs concorrentes seguindo a moda introduzida pela Sony.

Seguiu-se um período, de cerca de 20 anos, de liderança tecnológica mundial das empresas japonesas utilizando os transistores que produziam, aplicados em diversos aparelhos.

Se observar na sequência temporal do desenvolvimento dos semicondutores vai verificar que a partir da descoberta do transistor tudo andou muito mais depressa.

Agradecimento

Agradeço aos colegas da equipa do Museu Faraday: Carlos F. Fernandes, Albano Inácio e Jorge Amarante, os contributos que deram para a finalização deste trabalho de pesquisa histórica.