

FARADAYnews

Jornal do Museu Faraday



MUSEUS
DO TÉCNICO
TÉCNICO LISBOA





Transistorizámo-nos? /
Have we transistored ourselves?

O número 6 da revista Faraday News (FN) volta para a ribalta na entrada do ano 2023, altura em que [desapareceu Jorge Amarante](#), colaborador desde da primeira hora do Museu Faraday.

Há 75 anos atrás, também por alturas da passagem de ano, surgia um dispositivo que haveria de revolucionar a vida no mundo daí em diante. Levou o nome de Transístor.

Segundo o escritor, encenador e Prof. Osório Mateus, “nomear é conceber, ... é manejar sem confusão, ... é prever relações entre objetos”. Mas se assim é, também é verdade que nomear um objeto pode restringir, não permitindo que ele se expanda para outros contextos e assuma outros significados.

A identificação das coisas é fundamental. E, no entanto, a maioria de nós, senão a totalidade, não foi o responsável pela escolha do seu nome. Pode-se inclusivamente não gostar dele. Quando entramos no universo dos objetos, verificamos que grande parte deles viu a sua ação desaparecer muito rapidamente após a sua invenção. Digamos que tiveram um reinado efémero.

Mas Transístor é mais do que um nome, é uma ideia. As palavras explicam o mundo, mas a cristalização num nome retarda ou impede mesmo mudanças na história do conhecimento do sistema científico-literário-artístico. Em vez de substancializar, poder-se-ia adjetivar, para evitar a caducidade. Todos sabemos que ao referir um objeto designando-o como “pequeno”, ou “forte”, ou “curto”, se fica sempre preso ao sistema de



Issue 6 of Faraday News (FN) is back in the limelight as we enter the year 2023, when Jorge Amarante, collaborator from the very beginning of the Faraday Museum, passed away.

Seventy-five years ago, also around New Year's Eve, a device emerged that would revolutionise life in the world from then on. It was called the Transistor.

According to the writer, director and Prof. Osório Mateus, "to name is to conceive ...is to handle without confusion ...is to foresee relations between objects". But if this is so, it is also true that naming an object may restrict it, not allowing it to expand to other contexts and take on other meanings.

The identification of things is important. And yet most of us, if not all of us, were not responsible for choosing their names. One may even dislike them. When we enter the universe of objects, we see that a large part of them saw their action disappear very quickly after their invention. Let us say that they had an ephemeral reign.

But Transistor is more than a name, it is an idea. Words explain the world, but crystallisation in a name delays or even prevents changes in the history of knowledge of the scientific-literary-artistic system. Instead of substantialising, one could adjetivize, to avoid caducity.



*Jorge Amarante, Albano Oliveira, António Duarte e Carlos Fernandes
6 de fevereiro de 2017. Inauguração do Museu Faraday*

referência usado. E também sabemos que este é muito sensível à mudança dos tempos.

Transístor, agrupando os nomes transferência e resistência, pode ser entendido como um substantivo composto: o termo foi usado para designar os primeiros transístores.

Passar a verbo, ou verbalizar, foi a brilhante solução encontrada para a nova estrela do universo científico. Transístor passaria a designar uma ação que se desdobraria daí em diante em diversas aplicações do quotidiano de todos.

Desde o velhinho transístor de contacto pontual, inventado em dezembro de 1947 por Walter Brattain e John Bardeen nos *Bell Labs*, até aos atuais FinFETs, muito se andou em termos de miniaturização e rapidez. Com o passar do tempo, o Transístor está a ficar mais novo e mais pequeno. Pode saber nesta edição do FN como foi (e como muito provavelmente será de hoje em diante) em **O Transístor de 0 a 100?**

E porque o olhar de novo nos obriga a ver as coisas de outra maneira, uma ideia antiga pode ser sempre revisitada. É uma forma de (re)conhecer os objetos. Uma ideia antiga pode ser sempre renovada. Citando Gil Vicente “*lo que está por hacer/otro día lo haremos*”.

75 anos é o espaço temporal que requer comemoração. O Transístor é um dispositivo *vintage* da área da Ciência. Mas não só. As últimas décadas do século passado vieram atenuar as fronteiras entre domínios que até então tinham os seus limites bem definidos. As aplicações de novas descobertas científicas começaram a invadir e a marcar de forma indelével os campos artístico e literário. Mas serão mesmo mundos distintos o da Arte, o da Ciência e o da Literatura? Nos finais do século 17, Isaac Newton afirmava “Existem muros demais e pontes de menos”, enaltecendo as vantagens de partilha de conhecimento. Tema controverso, tratado nesta edição numa perspetiva literária do tratamento da informação em Arte e Ciência: **Doas Culturas**.

Fazer história somando estórias não é um processo sequencial no tempo. Requer quase sempre um olhar de novo, o voltar atrás para uma nova leitura. Há sempre pormenores que nos escapam, há sempre outros olhos que nos ajudam a ver melhor. Há diferentes maneiras de dar a volta ao mundo.

A fronteira de há 75 anos atrás pode estar mal definida.

We all know that when referring to an object by designating it as "small", or "strong", or "short", one is always stuck to the reference system used. And we also know that this is very sensitive to the changing times.

Transistor, grouping a blend of part of the names transference and resistance, can be understood as a reduction of a compound noun: the term was used to designate the first transistors. To turn into verb, or to verbalize, was the brilliant solution found for the new star of the scientific universe. Transistor would start to designate an action that would unfold from then on in several applications in everyone's daily life.

*From the old-fashioned point contact transistor, invented in December 1947 by Walter Brattain and John Bardeen at Bell Labs, to today's FinFETs, much has come in terms of miniaturisation and speed. As time goes by, the Transistor is getting newer and smaller. You can find out in this edition of FN how it was (and how it will most likely be from now on) in **The Transistor from 0 to 100?***

And because looking again forces us to see things differently, an old idea can always be revisited. It is a way of (re)knowing objects. An old idea can always be renewed. Quoting Gil Vicente "lo que está por hacer/otro día lo haremos".

*75 years is a time space that requires celebration. The Transistor is a vintage device in the field of science. But not only. The last decades of the last century came to blur the frontiers between domains which until then had their limits well defined. The applications of new scientific discoveries started to invade and to mark in an indelible way the artistic and literary fields. But are the worlds of Art, Science and Literature really distinct? In the late 17th century, Isaac Newton said "We build too many walls and not enough bridges", extolling the advantages of sharing knowledge. A controversial topic, treated in this issue from a literary perspective in the treatment of information in Art and Science, in the text **Two Cultures**.*

Making history by adding up stories is not a sequential process in time. It almost always requires a fresh look, going back for a new reading. There are always details that we miss, there are always other eyes that help us see better. There are different ways to go around the world.

The boundary from 75 years ago may be ill-defined. If more month less month in the middle of a year makes little



Se mais mês menos mês a meio de um ano não faz grande diferença, já o mesmo poderá não ser verdade no início ou no fim de um ano. “O erro zero não é uma realidade, mas pode ser um caminho”.

A questão é colocada nesta edição no **Quem é mais velho: o José ou o Transístor?** tendo como referência o nascimento oficial do Transístor há cerca de 75 anos.

O ser uma ideia faz atribuir ao Transístor o estatuto de um ser de múltiplas personalidades, característica que lhe assegura uma grande longevidade de sucesso. A quantos prémios Nobel corresponde um Transístor? A abordagem do tema nesta edição em termos de uma equação no artigo **Transístor = 3 Nobel?** parece mostrar que o resultado é uma função crescente no tempo.

Tal como o Transístor, os museus são um lugar de ligação entre o passado, o presente e o futuro. Nesse sentido, o ano dos 75 anos do Transístor não foi um ano fácil para os museus. Num cenário de trabalho presencial e à distância, tentar uma aliança entre o estudo e a prática foi tarefa complicada em 2022. No documento **Podcasts e...** da secção Eventos desta edição, pode ver que esta equipa se manteve presente em várias frentes e que, em tempos de cólera, garantir uma certa efetividade é sempre mais fácil quando se garante uma boa dose de afetividade. Balanço francamente positivo, quando se vislumbra uma retoma de visitas ao Museu Faraday como não víamos desde 2020. Mais uma razão para celebrarmos os 75 anos do Transístor.

Começar de novo, ter sobrevivido, vai valer a pena ter amanhecido. Renovar. Pequenas mudanças são possíveis e necessárias. No ano dos 75 anos do Transístor, inaugurámos uma nova secção que designámos por Personalidade, homenageando dois dos professores mais ilustres do Instituto Superior Técnico. No FN5 com o artigo **Borges da Silva: um homem para todas as épocas.** Na presente edição com o artigo **Abreu Faro o Pedagogo.**

Terminamos com o invólucro do FN6. Também uma renovação. Na contracapa, com uma alusão aos múltiplos tentáculos desta sempre nova velha ideia que se chama Transístor. Na capa, e na tradição dos anteriores números, ressalta mais uma vez o bom gosto, o profissionalismo e a criatividade do *designer* Henrique Nogueira numa alusão à capacidade para ação e flexibilidade do Transístor.

*difference, the same may not be true at the beginning or end of a year. "Zero error is not a reality, but it may be a path". The question is asked in this edition on **Who is older: José or Transistor?** having as reference the official birth of Transistor about 75 years ago.*

Being an idea gives the Transistor the status of being of multiple personalities, a characteristic that guarantees it great longevity and success. How many Nobel prizes does a Transistor correspond to?

*The approach to the subject in this edition in terms of an equation in the article **Transistor = 3 Nobel?** seems to show that the result is an increasing function over time.*

*Just like Transistor, museums are a place of connection between the past, the present and the future. In that sense, the year of Transistor's 75th anniversary was not an easy one for museums. In a scenario of face-to-face and distance work, trying an alliance between study and practice was a complicated task in 2022. In the document **Podcasts and...** of the Events section of this edition, you can see that this team remained present on several fronts and that, in times of cholera, ensuring a certain effectiveness is always easier when a good dose of affection is guaranteed. A frankly positive balance when we see a resumption of visits to the Faraday Museum that we haven't seen since 2020. All the more reason to celebrate Transistor's 75th anniversary.*

*"To start again, to have survived, it will be worth having dawned". Renew. Small changes are possible and necessary. In the year of Transistor's 75th anniversary, we have inaugurated a new section which we have called Personality, paying tribute to two of the most distinguished professors at the Instituto Superior Técnico. In FN5, with the article **Borges da Silva: a man for all times.** In this edition with the article **Abreu Faro the Pedagogue.***

We finish with the FN6 casing. Also, a renewal. On the back cover, with an allusion to the multiple tentacles of this ever-new old idea called Transistor. On the cover, and in the tradition of the previous issues, the good taste, professionalism and creativity of the designer Henrique Nogueira stand out once again, alluding to Transistor's capacity for action and flexibility.

Parabéns Transístor! / Congratulations Transistor!

Carlos Fernandes
Prof. do IST (aposentado)
Investigador do [IT](#)

Moisés Piedade
Prof. do IST (aposentado)
[Investigador \(aposentado\) do INESC](#)



[FN5](#)



A descoberta do transístor

A história do transístor dilui-se no tempo. Depois dos resultados obtidos em 1940, pelos seus investigadores Russel Ohl e George Southworth, que chegaram à junção PN, a empresa *Bell Telephone Laboratories* ([História dos Bell Labs](#)) criou em 1945 um grupo específico para o estudo de semicondutores, visando aplicações nas comunicações telefónicas. Este grupo, dirigido por William Shockley e Stanley Morgan, foi criteriosamente escolhido, sendo constituído pelo experimentalista de materiais semicondutores Walter Brattain, pelo físico teórico do estado sólido William Shockley e pelo físico quântico John Bardeen, amigo do irmão de Brattain. Três personalidades muito diferentes que fizeram uma das maiores descobertas do século 20 - o transístor -, facto que levou à atribuição do prémio Nobel a 10 de dezembro de 1956 a estes três cientistas.

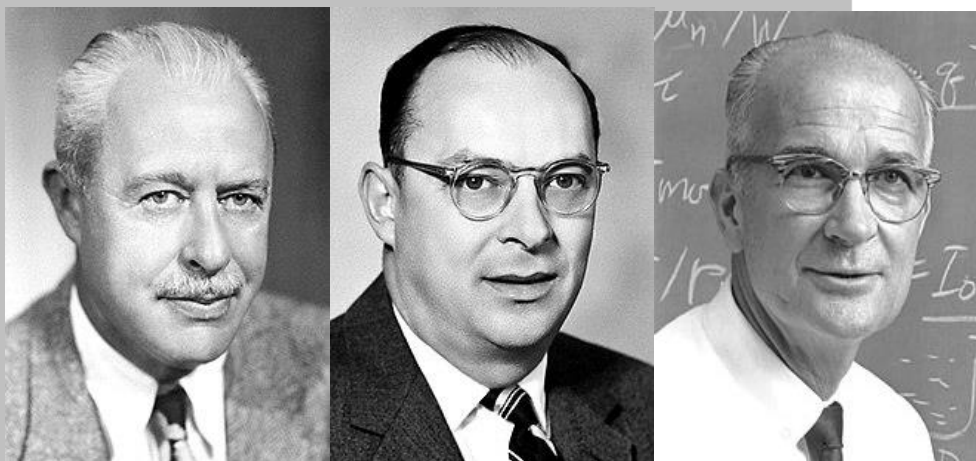
No domínio científico, a aprendizagem do conhecimento dá-se muito de forma cumulativa, ou seja, alicerçada sobre conhecimento passado. A história do transístor não começou em 1945. Mas este foi sem dúvida um ano que permitiu criar as condições que justificaram a atribuição do Nobel 11 anos mais tarde, "for research on semiconductors and the discovery of the

Transistor = 3 Nobel ?

The discovery of the transistor

The history of the transistor is diluted in time. After the results obtained in 1940 by its researchers Russel Ohl and George Southworth, who discovered the PN junction, The Bell Telephone Laboratories company ([Bell Labs History](#)), created in 1945 a specific group for the study of semiconductors aiming at applications in telephone communications. This group, led by William Shockley and Stanley Morgan, was carefully chosen and consisted of Walter Brattain, a semiconductor materials experimentalist, William Shockley, a solid-state theoretical physicist and John Bardeen, a quantum physicist and a friend of Brattain's brother. Three very different personalities who made one of the greatest discoveries of the 20th century - the transistor - which led to the Nobel Prize being awarded to them on 10 December 1956.

In the scientific field, the learning of knowledge takes place in a very cumulative way, i. e. based on past knowledge. The history of the transistor did not begin in 1945. But this was undoubtedly a year that created the conditions justifying the Nobel award 11 years later, "for research on semiconductors and the discovery of the transistor effect". In other words, the process that led to the appearance of the transistor is an example of less cumulative learning, or serial (sequence), but resulting from knowledge acquired by different paths segmented in parallel, a learning process more typical of the humanities or the arts.



Walter Brattain, John Bardeen, William Shockley

transistor effect”.

Ou seja, o processo que levou ao aparecimento do transistor constitui um exemplo de aprendizagem menos cumulativa, ou em série (sequência), mas resultante de conhecimento adquirido por diferentes vias segmentadas em paralelo, processo de aprendizagem mais comumente utilizado na área das humanidades ou das artes.

Apesar do seu brilhantismo científico, era óbvio que W. Shockley não era a pessoa mais indicada para a função que lhe foi atribuída de direção do grupo. “Eletricamente” falando, faltou nesta ligação em paralelo a presença de um quarto ramo com capacidade para uma melhor liderança de personalidades tão distintas. Se assim acontecesse, a história que se seguiria poderia ter sido diferente, mas estamos em crer que, à distância, o processo acabaria por convergir em algo semelhante.

Na atribuição do [Nobel da Física em 1956](#), a Academia Real das Ciências da Suécia soube reconhecer que o novo dispositivo resultante da utilização de materiais semicondutores, inventado sete anos antes, executava a função de amplificação já conhecida nas válvulas eletrônicas, mas agora em dispositivos de estado sólido que permitiam a realização de sistemas eletrônicos de dimensões muito inferiores e com muito menor consumo de energia. A primeira aplicação comercial do transistor de junção bipolar foi no *Zenith Royal T*, que usou, pela primeira vez, três transistores de junção CK718, da empresa *Raytheon*, produzidos em 1952, para substituir três válvulas (pêntodos sub-miniatura), CK549D, do aparelho de ajuda auditiva *Zenith Royal*.

Mais do que um dispositivo, estava a celebrar-se em Estocolmo uma ideia. E o nome que lhe foi atribuído designa isso mesmo, através da contração das palavras em inglês “transfer + resistor”, nome que surgiu de uma votação realizada nos *Bell Labs*. Estava aberto o novo caminho a explorar - a miniaturização - que comandou a pesquisa científica a partir daí. Os transistores estiveram na origem da maior revolução da indústria eletrônica, que foi iniciada na segunda metade do século XX e que perdura até aos nossos dias.



In the scientific field, the learning of knowledge takes place in a very cumulative way, i. e. based on past knowledge. The history of the transistor did not begin in 1945. But this was undoubtedly a year that created the conditions justifying the Nobel award 11 years later, "for research on semiconductors and the discovery of the transistor effect". In other words, the process that led to the appearance of the transistor is an example of less cumulative learning, or serial (sequence), but resulting from knowledge acquired by different paths segmented in parallel, a learning process more typical of the humanities or the arts.

Despite his scientific brilliance, it was obvious that W. Shockley was not the most suitable person for the role he was assigned to as leader of the group. "Electrically" speaking, this parallel connection lacked the presence of a fourth branch with the capacity for better leadership of such distinct personalities. If this had happened, the story that followed might have been different, but we believe that the process would end up converging on something similar.

*When awarding the [Nobel Prize in Physics in 1956](#), the Royal Swedish Academy of Sciences recognized that the new device resulting from the use of semiconductor materials, invented seven years earlier, performed the amplification function already known in electronic valves, but now in solid state devices that allowed the creation of much smaller electronic systems with much lower power consumption. The first commercial application of the bipolar junction transistor was in the *Zenith Royal T*, which first used three CK718 junction transistors, from the *Raytheon Company*, produced in 1952, to replace three sub-miniature tubes (pentodes, CK549D), in the *Zenith Royal* hearing aid.*

More than celebrating a device, it was an idea that was being celebrated in Stockholm. And the name it was given to shows it, as it is a blend resulting from the English words "transfer" and "resistor", a name that emerged from a vote held at Bell Labs. The new path to explore was open - miniaturisation - which led scientific research from then on. Transistors were at the origin of the greatest revolution in the electronics industry, which began in the second half of the 20th century and continues to this day.



Bardeen, Shockley , Brattain
 Shockley observando o novo transistor de contacto /
 Shockley looking at the new contact transistor.

Walter Brattain (1902-87)

Walter Houser Brattain nasceu a 10 de fevereiro de 1902 em Amoy (agora Xiamen), na China, filho de pais estado-unidenses. O pai foi professor no Instituto *Ting-Wen*, uma escola particular para jovens chineses; a mãe foi uma matemática de reconhecido talento. A família Brattain regressou aos EUA em 1903, um ano depois do nascimento de Walter.

Walter Brattain fez os estudos em várias escolas privadas e, em 1924, completou o bacharelato, com especial ênfase na formação em matemática e física, no Whitman College, onde já se tinham formado os seus pais. Em 1929, Walter Brattain terminou o doutoramento (Ph.D.) na universidade de Minnesota com a tese "Efficiency of Excitation by Electron Impact and Anomalous Scattering in Mercury Vapour", orientada pelo físico John Torrence Tate, que foi editor da revista *Physical Review* de 1926 a 1950. A sólida formação de Brattain na área da Física tornou-o conhecido como um dos "4 cavaleiros da Física".

Foi, portanto, natural que, em 1929, Brattain fosse admitido nos *Bell Telephone Laboratories*, juntamente com o físico alemão Joseph A. Becker, para investigarem a injeção, através de calor, de portadores de carga nos retificadores feitos com o semicondutor óxido de cobre.

Walter Brattain (1902-87)

Walter Houser Brattain was born on February 10, 1902 in Amoy (now Xiamen), China, to American parents. His father was a teacher at the Ting-Wen Institute, a public school for Chinese youngsters; his mother was an accomplished mathematician. The Brattain family returned to the USA in 1903, a year after Walter's birth.

Walter Brattain studied in several public schools and, in 1924, completed his bachelor's degree, with special emphasis on mathematics and physics, at Whitman College, where his parents had already graduated. In 1929, Walter Brattain completed his Ph.D. at the University of Minnesota with the thesis Efficiency of Excitation by Electron Impact and Anomalous Scattering in Mercury Vapour, supervised by physicist John Torrence Tate, who was editor of the Physical Review from 1926 to 1950. Brattain's solid background in physics made him known as one of the "four horsemen of physics".

So, it was natural that in 1929, Brattain was admitted to Bell Telephone Laboratories, together with the German physicist Joseph A. Becker, to investigate the injection, by means of heat, of charge carriers in rectifiers made of the copper oxide semiconductor.

Experimentally, with thermionic emission, Brattain and Becker validated the theory presented by the German Arnold Sommerfeld on the quantum structure of matter; with work on surface states and the electron work function of tungsten, Brattain discovered the photoelectric effect on the free surface of a semiconductor, a fact that was considered one of his greatest contributions to the field of Solid-State Physics.

With such a profile, it was no surprise that in 1930 he joined the Bell Labs research group created by Shockley, linked to semiconductors, where he remained until 1967. During World War II, Brattain and Shockley worked with the National Department of Defence, USA, and Columbia University, to develop a system for the magnetic detection of submarines by altering the Earth's magnetic field.



Retificador de Óxido de Cobre. Foi a primeira aplicação industrial do semicondutor óxido de cobre, em 1925 por L Grondahl.

Copper Oxide Rectifier. It was the first industrial application of copper oxide semiconductor, in 1925 by L Grondahl.

Experimentalmente, com a emissão termiônica, Brattain e Becker validaram a teoria apresentada pelo alemão Arnold Sommerfeld sobre a estrutura quântica da matéria; com trabalhos sobre estados de superfície e sobre o trabalho de saída de elétrons do tungstênio, Brattain descobriu o efeito fotoelétrico na superfície livre de um semiconductor, facto que foi considerado uma das suas maiores contribuições na área da física do estado sólido.

Com este perfil, não foi, pois, de espantar a sua inclusão em 1930 no grupo de investigação dos *Bell Labs* criado por Shockley, ligado aos semicondutores, onde permaneceu até 1967. Durante a 2ª guerra mundial, Brattain e Shockley trabalharam com o *National Department Defence*, EUA, e com a *Columbia University*, para desenvolverem um sistema de deteção magnética de submarinos a partir da alteração do campo magnético terrestre.

E foi nos *Bell Labs* que, a partir de um dado momento, os caminhos de Brattain e de Bardeen começaram a divergir dos de Shockley. Este conhecia a teoria subjacente ao efeito de transferência de resistência. Não o conseguia evidenciar do ponto de vista prático, uma vez que as condições tecnológicas existentes na altura não o permitiam. O efeito de transferência de resistência parecia exigir algo mais do que uma estrutura unidimensional associada a uma resistência comum. E nesse ponto, Brattain tinha um passado que lhe garantia um trunfo: a criatividade e a imaginação do saber-fazer. Que aliada a uma formação sólida no domínio da Física lhe garantia uma independência que Shockley, pelos vistos, não tinha.

E foi assim que na busca incessante, determinada por Shockley, da manifestação do efeito de campo em materiais do estado sólido que pudessem substituir vantajosamente os tubos de vácuo, Brattain e Bardeen foram pouco a pouco orientados para a realização de um transistor de contacto em ponta. Apoiaram-se na experiência de Brattain nos díodos de contacto metálico, que tanto sucesso tiveram na [deteção de sinais de radar na 2ª guerra mundial](#).

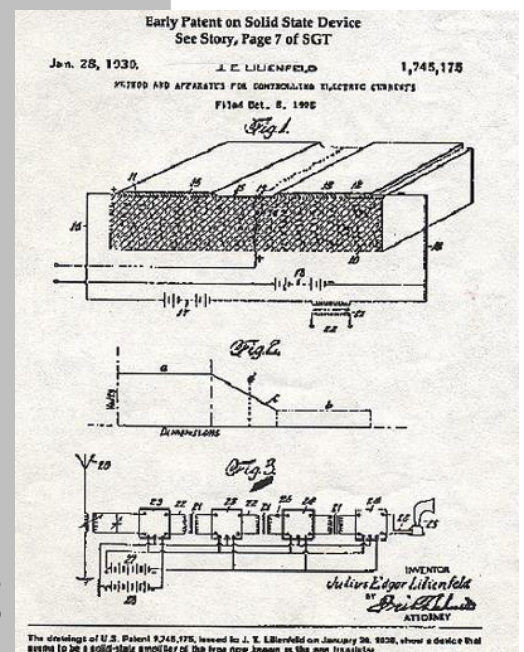
O sonho de Shockley era realizar o transistor de efeito de campo, uma ideia de Lilienfeld patenteada em 1926 e que foi pensada para realizar um recetor de rádio com dispositivos de estado sólido /

Shockley's dream was to make the field effect transistor, an idea of Lilienfeld's that was patented in 1926 and which was thought to make a radio receiver with solid state devices.

And it was at Bell Labs that, from a given moment, the paths of Brattain and Bardeen began to diverge from those of Shockley. Shockley knew the theory behind the resistance transfer effect. He could not demonstrate it from a practical point of view, since the technological conditions existing at the time did not allow it. The resistance transfer effect seemed to require something more than a one-dimensional structure associated with a common resistance. And on that point, Brattain had a background that guaranteed him an asset: creativity and imaginative know-how. That, combined with a solid background in physics, gave him an independence, which Shockley apparently didn't have.

And so, it was that, in the relentless search determined by Shockley for the manifestation of the field effect in solid state materials that could advantageously replace vacuum tubes, Brattain and Bardeen were gradually directed towards the realization of a leading-edge contact transistor. They relied on Brattain's experiment on metal contact diodes, which were so successful in [detecting radar signals in World War II](#).

The Brattain/Bardeen duo believed that, by placing a second contact very close to the first, they could modulate the current between those two contacts. And so, thanks to the ingenuity and art of both, the first device of this great family was born at the end of 1947, and successfully passed from theory to practice, being announced to the world in the first months of 1948.



A dupla Brattain/Bardeen acreditava que, colocando um segundo contacto muito próximo do primeiro, poderia modular a corrente entre esses dois contactos. E assim, graças ao engenho e arte de ambos, surgiu em finais de 1947 o que é considerado o primeiro dispositivo desta grande família que passou da teoria à prática com sucesso, sendo anunciado ao mundo nos primeiros meses de 1948.

Nos históricos apontamentos de Brattain são descritas cinco experiências que foram realizadas até conseguirem obter um dispositivo amplificador de sinal - o transistor de contacto metálico. Depois de várias tentativas, Brattain, no dia 16 de dezembro de 1947, sugeriu que uma finíssima lâmina de ouro, colada nos bordos de um fino prisma triangular de poliestireno, poderia ser cortada com uma lâmina, exatamente no vértice, originando dois contactos desligados, mas colocados suficientemente próximos (distâncias inferiores a 50 μm). Deste modo, conseguiram colocar muito próximos dois elétrodos de ouro sobre uma superfície de germânio.

No dia 23 de dezembro de 1947, foi feita uma demonstração de um amplificador de áudio para sete personalidades da equipa, tendo ficado demonstrado o funcionamento do amplificador com um ganho de potência de 18 dB. No dia 24 de dezembro, H.R. Moore introduziu algumas modificações no circuito de amplificação de áudio já com saída para auscultadores, que serviu para demonstrações futuras. E foi assim que, no Natal de há 75 anos atrás, o primeiro dispositivo da família Transistor começou uma história com repercussões futuras no quotidiano da população em todo o mundo. Seguramente um salto qualitativo na história do conhecimento.

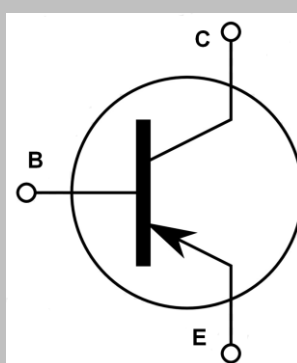
Os *Bell Labs* mantiveram em segredo esta descoberta e, só depois de o transistor estar patenteado, apresentaram ao público o novo dispositivo. Ocorreu a 30 de junho de 1948, fazendo os *Bell Labs* questão de incluir Shockley na descoberta.

In Brattain's historic notes, five experiments are described that were carried out until they succeeded in obtaining a signal amplifying device - the metallic contact transistor. After several attempts, Brattain, on 16 December 1947, suggested that a thin gold foil, glued to the edge of a thin triangular polystyrene prism, could be cut with a blade exactly at the vertex, giving two disconnected contacts, but placed close enough (distances of less than 50 μm). In this way, they were able to place two gold electrodes very close together on a germanium surface.

On 23 December 1947, a demonstration of an audio amplifier was made for seven staff personalities, and the operation of the amplifier was verified with a power gain of 18 dB. On 24 December, H.R. Moore introduced some modifications to the audio amplifier circuit that already had a headphone output, which would be used for future demonstrations. And so it was, that, on Christmas 75 years ago, the first device of the Transistor family began a story with future repercussions on the daily life of people all over the world. Certainly, a qualitative leap in the history of knowledge.

Bell Labs kept this discovery a secret, and only after the transistor was patented did they introduce the new device to the public. This event took place on 30th June 1948, with Bell Labs making a point of including Shockley in the discovery.

However, Shockley did not really like not being part of this discovery and later excluded Bardeen and Brattain from further research. The group eventually broke up: Bardeen left in 1953 because he felt that the research situation in Shockley's group was untenable; Brattain went to another Bell Labs group, and Shockley left in 1953, to form the Shockley Semiconductor Laboratory within Beckman Instruments Inc. According to several authors, the fruitful connection of the two friends, Brattain (the experimentalist) and Bardeen (the theoretician), is figuratively seen as the connection of Brattain's hands to Bardeen's brain.



Transistor original, Réplica demonstração, Símbolo do transistor /
Original transistor, Demonstration replica, Transistor symbol.

Todavia, Shockley não gostou realmente de não fazer parte desta descoberta e, mais tarde, excluiu Bardeen e Brattain de novas investigações futuras. O grupo acabou por se desfazer: Bardeen saiu em 1953, por achar que a situação de investigação no grupo de Shockley era insustentável; Brattain foi para outro grupo dos *Bell Labs* e o próprio Shockley saiu em 1953 para formar o *Shockley Semiconductor Laboratory* dentro da empresa *Beckman Instruments Inc.*. Segundo vários autores, a ligação frutífera dos dois amigos, Brattain (o experimentalista) e Bardeen (o teórico), é vista figurativamente como a ligação das mãos de Brattain com o cérebro de Bardeen.

Brattain casou em 1935 com a engenheira química Keren Guilmore, de quem teve um filho. Keren morreu em 1957 e Brattain casou nesse mesmo ano com Emma Jane Miller, de quem teve mais três filhos. Em 1970, Brattain mudou-se para Seattle, EUA, e manteve uma colaboração com o *Wittman College*. Começou a sofrer da doença de Alzheimer, tendo falecido em 1987.

John Bardeen (1908-91)

John Bardeen nasceu a 23 de maio de 1908 em *Madison, Wisconsin* (EUA), filho do médico Charles Bardeen e de Althea Bardeen. Althea morreu em 1921, vítima de cancro. John Bardeen terminou os estudos secundários em 1923 e matriculou-se na *University of Wisconsin*, tendo obtido o bacharelato em Engenharia Eletrotécnica em 1928 e o mestrado em 1929. Nesta universidade, Bardeen frequentou opcionalmente todos os cursos de Matemática e de Física Avançada.

De 1930 a 1933, Bardeen empregou-se como geofísico na *Gulf Research Labs*, onde fez trabalhos de pesquisa na interpretação de efeitos de magnetismo e de gravitação. Voltou à universidade para fazer um doutoramento em *Princeton*, onde estudou matemática e física avançada. Acabou o Ph.D. em 1936 com uma tese em Física do Estado Sólido. Casou em 1938 com Jane Maxwell, com quem teve dois filhos, James e William.

De 1941 a 1944, durante a 2ª guerra mundial trabalhou no *Naval Ordnance Laboratory*, onde dirigiu um grupo de investigação sobre minas magnéticas e torpedos. Em 1945, empregou-se nos *Bell Labs*, onde esteve até 1951 e de onde saiu, depois das desavenças com William Shockley, assumindo uma posição na *University of Illinois Urbana-Champaign*.

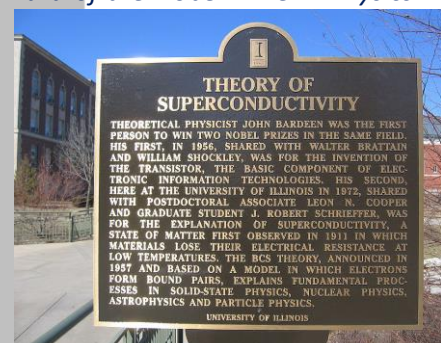
Brattain married chemical engineer Keren Guilmore in 1935, from whom he had a son. Keren died in 1957 and Brattain married Emma Jane Miller that same year, from whom he had three more children. In 1970, Brattain moved to Seattle, USA, and maintained a collaboration with Wittman College. He began to suffer from Alzheimer's disease and died in 1987.

John Bardeen (1908-91)

John Bardeen was born on May 23, 1908 in Madison, Wisconsin (USA), the son of Doctor Charles Bardeen and Althea Bardeen. Althea died in 1921, victim of cancer. John Bardeen finished high school in 1923 and enrolled at the University of Wisconsin, earning a Bachelor's degree in Electrical Engineering in 1928 and a Master's degree in 1929. At this university, Bardeen took all optional courses in Mathematics and Advanced Physics.

From 1930 to 1933, Bardeen was employed as a geophysicist at Gulf Research Labs, where he did research work in interpreting magnetism and gravitation effects. He returned to university to pursue a Ph.D. at Princeton, where he studied Advanced Mathematics and Physics. He finished his Ph.D. in 1936 with a thesis in Solid State Physics. He married Jane Maxwell in 1938, with whom he had two sons, James and William.

From 1941 to 1944, during World War II he worked at the Naval Ordnance Laboratory, where he headed a research group on magnetic mines and torpedoes. In 1945, he joined Bell Labs, where he stayed until 1951 and left after disagreements with William Shockley, taking up a position at the University of Illinois Urbana-Champaign. It was at this university that, from 1957, he did research on superconductivity with a graduate student and a post-doctoral student, which would culminate in the award of the Nobel Prize in Physics in 1972.



Homenagem a Bardeen /
Homage to Bardeen
University of Illinois

Foi nesta universidade que, a partir de 1957, fez trabalhos de investigação sobre supercondutividade com um estudante de pós-graduação e com um de pós-doutoramento, que culminaria com a atribuição do Nobel da Física em 1972. Desde 1901, o primeiro ano em que foi outorgado o Prémio Nobel pela Academia Real das Ciências da Suécia, John Bardeen foi o único cientista a quem foi atribuído o prémio Nobel da Física por mais do que uma vez, na sua área de investigação. É obra.

Nos anos 80, Bardeen fez muitos trabalhos de investigação, que foi publicando nas principais revistas de Física, nomeadamente na *Physical Review Letters* e na *Physics Today*. Com as suas descobertas científicas, foi considerado uma das 100 pessoas mais influentes do século. Faleceu em 1991 com 82 anos, vítima de um problema cardíaco.

William Shockley (1910-89)

William Bradford Shockley nasceu em Londres a 13 de fevereiro de 1910. O pai era engenheiro de minas e a sua mãe estava ligada à prospeção mineira. Os seus pais regressaram aos EUA e foram viver para *Palo Alto*, Califórnia, quando William tinha 3 anos de idade. Os pais de Shockley achavam que o ensino público não era de qualidade e cuidaram pessoalmente da sua educação em casa, até William atingir a idade de 8 anos. A mãe ensinou-lhe matemática, tendo W. Shockley sido sempre estimulado para interesses científicos, quer pelo pai, quer pelo vizinho, Perley Ross, professor de Física em *Stanford*. Shockley interessou-se pela Física e estudou na Academia Militar de *Palo Alto*, na *Los Angeles Coaching School* e terminou os estudos secundários na *Hollywood High School*, em 1927. No mesmo ano entrou na *University of California, Los Angeles*, UCLA, onde estudou um ano, prosseguindo no *California Institute of Technology*, Caltech, onde, em 1932, terminou o bacharelato em Física.

Entrou no *Massachusetts Institute of Technology*, MIT, com uma bolsa de estudo e terminou o Ph.D. em 1937 com a tese "*Calculation of Electron Wave Functions in Sodium Chloride Crystals*", trabalho que viria a ser fundamental na sua carreira científica. Foi contratado pelos *Bell Labs* sob supervisão de Clinton J. Davisson no projeto de um tubo fotomultiplicador de eletrões, mas rapidamente envolveu-se no estudo da Física de Estado Sólido.

Since 1901, the first year the Nobel Prize was awarded by the Royal Swedish Academy of Sciences, John Bardeen has been the only scientist to be awarded the Nobel Prize in Physics more than once. Fabulous!

In the 1980s, Bardeen did a lot of research, which he published in leading physics journals, including Physical Review Letters and Physics Today. With his scientific discoveries he was considered one of the 100 most influential people of the century. He died in 1991 at the age of 82, a victim of a heart condition.

William Shockley (1910-89)

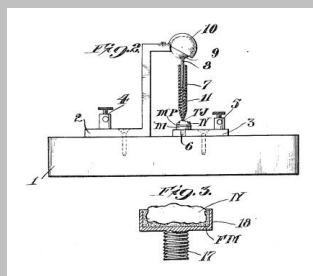
William Bradford Shockley was born in London on 13 February 1910. His father was a mining engineer and his mother was involved in mining prospecting. His parents returned to the USA and moved to Palo Alto, California when William was three years old. Shockley's parents felt that public education was not of a high standard and personally took care of his education at home, until William reached the age of 8. His mother taught him mathematics and W Shockley was always stimulated towards scientific interests by both his father and his neighbour, Perley Ross, a physics professor at Stanford. Shockley became interested in physics and studied at Palo Alto Military Academy, Los Angeles Coaching School and finished his secondary education at Hollywood High School in 1927. In the same year he entered the University of California, Los Angeles, UCLA, where he studied for a year, continuing on to the California Institute of Technology, Caltech, where, in 1932, he finished his bachelor's degree in physics.

He entered the Massachusetts Institute of Technology, MIT, with a scholarship and finished his Ph.D. in 1937 with the thesis Calculation of Electron Wave Functions in Sodium Chloride Crystals, work that was to be fundamental in his scientific career. He was hired by Bell Telephone Laboratories under the supervision of Clinton J. Davisson to design an electron photomultiplier tube, but soon became involved in the study of Solid-State Physics. In 1939, he proposed a field effect transistor type device by embedding two wires in the copper oxide semiconductor, but this device never worked. This attempt was intended to replace relays and valves in Bell Labs telephone switching systems.

During World War II, Shockley worked on radar development within Bell Labs.

G. Pickard -1906 Pat. 836,531, USA.

Díodo de silício de contato pontual / *Silicon point contact diode*



Em 1939, propôs um dispositivo tipo transístor de efeito de campo, embebendo dois fios no semicondutor óxido de cobre, mas este dispositivo nunca funcionou. Esta tentativa visava substituir os relés e válvulas nos sistemas de comutação telefónica dos *Bell Labs*.

Durante a 2ª guerra mundial, Shockley trabalhou no desenvolvimento de radares dentro dos *Bell Labs*. Em 1945, Shockley retornou aos *Bell Labs* num novo grupo para estudar materiais semicondutores e aplicações. Como diretor de um grupo de investigação ficou incumbido de contratar especialistas nesta área. Como atrás referido, entre estes estavam John Bardeen e Walter Brattain. A ideia de fazer um transístor de efeito de campo, no qual a aplicação de um campo elétrico modularia a corrente num filamento de germânio tal como a tensão entre a grelha e o cátodo de um tríodo modela a corrente de placa, manteve-se sempre firme nos objetivos de Shockley.

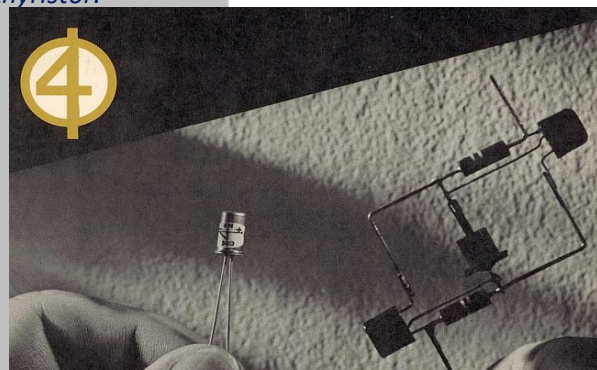
Para explicar a não funcionalidade da proposta de Shockley, John Bardeen sugeriu que a causa estaria ligada ao facto de os eletrões ficarem agarrados em estados superficiais e impedirem que o campo elétrico externo atingisse o filamento semicondutor. Este palpite levou Bardeen e Brattain a descobrir que o contacto metálico era responsável pela modulação da condutividade do semicondutor, facto que levaria ao aparecimento do transístor de contacto metálico em dezembro de 1947 sem a participação de Shockley, que chefiava este departamento de investigação. Shockley não gostou desta descoberta e reforçou a sua própria atividade de investigação. Em 1948, Shockley prosseguiu com a ideia de conceber um transístor de junção monolítico, apoiando-se nos trabalhos de Walter Schottky e de Neville Mott sobre as barreiras de potencial entre metais e semicondutores. Em 1950, Shockley apresentou, num artigo do *Bell Labs Journal*, este transístor de junção, mas que, no entanto, só seria realizado em 1951.

Ainda em 1950, Shockley inventou o díodo de 4 camadas PNP, (Shockley *diode*). Este dispositivo era visto como o díodo ideal com dois estados bem definidos ON e OFF, que substituiria um circuito com dois transístores e várias resistências. Apesar de continuar a ter mais desenvolvimento nos *Bell Labs*, acabaria por ser Gordon Hall da *General Electric* a introduzir uma porta de controlo no díodo e originar um novo dispositivo - o tirístor.

In 1945, Shockley returned to Bell Labs in a new group to study semiconductor materials and applications. As director of a research group, he was charged with hiring specialists in this area. As mentioned before, these included John Bardeen and Walter Brattain. The idea of making a field effect transistor, in which the application of an electric field would modulate the current in a germanium filament in the same way that the voltage between the grid and cathode of a triode modulates the plate current, remained firmly in Shockley's sights.

*To explain the non-functionality of Shockley's proposal, John Bardeen suggested that the cause was linked to the fact that the electrons were trapped in surface states and prevented the external electric field from reaching the semiconductor filament. This hunch led Bardeen and Brattain to discover that metallic contact was responsible for modulating the conductivity of the semiconductor, a fact that would lead to the appearance of the metallic contact transistor in December 1947 without the participation of Shockley, who headed this research department. Shockley did not like this discovery and stepped up his own research activity. In 1948, Shockley pursued the idea of designing a monolithic junction transistor, building on the work of Walter Schottky and Neville Mott on potential barriers between metals and semiconductors. In 1950, Shockley presented this junction transistor in an article in the *Bell Labs Journal*, but it would not be realised until 1951.*

Also, in 1950, Shockley invented the 4-layer PNP diode. This device was seen as the ideal diode with two well-defined ON and OFF states, which would replace a circuit with two transistors and several resistors. Although there was further development at Bell Labs, it was General Electric's Gordon Hall that introduced a control gate to the diode and gave rise to a new device - the thyristor.



Díodo de 4 camadas (PNP) de Shockley é [equivalente a vários componentes](#) / *Shockley 4 Layers diode is [equivalent to several components](#).*

Em 1953, Shockley, descontente com a gestão dos *Bell Labs* saiu e foi para o *Caltech* como Professor Visitante, onde se tornou amigo de Arnold Beckman (inventor do medidor de pH), da empresa *Beckman Instruments*. Em 1955, Shockley e Beckman fundaram a primeira empresa start-up do *Silicon Valley*, a *Shockley Semiconductor Laboratory* em *Mountain View*, California. Contrataram jovens brilhantes na área dos semicondutores e Shockley reforçou a investigação no diodo de quatro camadas, pois vaticinava que este dispositivo seria tão importante como o transistor, com diversas áreas de aplicação, nomeadamente, na comutação telefónica.

Shockley começou a ficar hesitante entre produzir transistores ou o novo diodo de quatro camadas. Oito investigadores contratados pediram a Beckman que o tirasse da gestão, o que não aconteceu. Em 1957, como retaliação, esses investigadores saíram da empresa de Shockley e constituíram a empresa *Fairchild*, que viria a criar a divisão *Fairchild Semiconductors*. Pela mão de Gordon Moore, um dos ex-investigadores da empresa de Shockley, saíram, em 1958, os primeiros transistores fabricados pela *Fairchild* com a tecnologia Mesa Planar: os transistores de silício NPN 2N696 e 2N697, que diferiam apenas no ganho de corrente. Jean Hoerni, outro dos ex-investigadores, ficou com a tarefa de desenvolver o transistor PNP. A tecnologia de fabricação Mesa, que obrigava ao fabrico dos transistores um a um, viria a ser ultrapassada pela tecnologia planar desenvolvida por Jean Hoerni ainda em 1958, que permitia fazer centenas de transistores no mesmo plano. Mais tarde, estes oito jovens, designados por Shockley como "traidores", viriam a formar as empresas *Intel* e *AMD*.

Em 1960, Shockley começou a produzir o diodo de quatro camadas, mas não teve o sucesso comercial esperado. Entretanto, a empresa começou também a estudar células solares. A empresa *Shockley* seria comprada pela *Clevite Transistor* em 1960 e, em 1968, pela *ITT*, mas acabaria por fechar. Ficou para sempre recordada como a primeira empresa do *Silicon Valley*.

In 1953, Shockley, unhappy with the Bell Labs management, left and went to Caltech as a Visiting Professor, where he became friends with Arnold Beckman (inventor of the pH meter) of the Beckman Instruments company. In 1955, Shockley and Beckman founded Silicon Valley's first start-up company, the Shockley Semiconductor Laboratory in Mountain View, California. They hired bright young people in the semiconductor field and Shockley strengthened research into the four-layer diode, as he predicted that this device would be as important as the transistor, with several areas of application, notably, in telephone switching.

Shockley began to hesitate between producing transistors or the new four-layer diode. Eight contract researchers asked Beckman to remove him from management, which he did not do. In 1957, in retaliation, these researchers left Shockley's Company and formed the Fairchild Company, which would go on to create the Fairchild Semiconductors division. In 1958, Gordon Moore, one of the former researchers of Shockley, produced the first transistors manufactured by Fairchild using the Mesa Planar technology: the 2N696 and 2N697 NPN silicon transistors, which differed only in the current gain. Jean Hoerni, another of the former researchers, was left with the task of developing the PNP transistor. Mesa Manufacturing technology, which meant that transistors had to be made one by one, was superseded by the planar technology developed by Jean Hoerni as early as 1958, which made it possible to make hundreds of transistors on the same plane. Later, these eight young men, referred to by Shockley as "traitors", would go on to form the Intel and AMD companies.

In 1960, Shockley began producing the four-layer diode, but it did not reach the expected commercial success. However, the company also began studying solar cells. Shockley Company would be bought by Clevite Transistor, in 1960, and [ITT](#), in 1968, but it closed later. It is forever remembered as the first Silicon Valley Company.



Shockley Semiconductor Laboratory

Shockley dividiu a sua vida entre ciência criativa e engenharia e a sua cruzada contra a digenia, onde investiu os últimos 15 anos da sua vida. Ele achava que as sociedades deveriam ser governadas pela elite intelectual, em vez de ser por decisões da maioria, como acontece com as sociedades democráticas.

Em quarenta anos fez contribuições notáveis para a literatura científica, inspirou uma geração de cientistas da área da Física do Estado Sólido e registou mais de noventa patentes pelas suas invenções. Quem trabalhou com ele salienta a enorme capacidade de decompor um problema complexo nas suas componentes fundamentais e encontrar soluções únicas. Mas há sempre o outro lado do outro...

As várias faces do Transistor

A ideia de efeito de campo, tão apreciada por Shockley, remonta à década de 20 do século passado, mas dificuldades tecnológicas adiaram a sua implementação prática. Quase três décadas depois, em finais de 1947, na antevéspera de Natal, surgiu finalmente o transistor de contacto em ponta, da autoria da equipa Bardeen/Brattain, usando o germânio como semiconductor. Este dispositivo foi patenteado em janeiro de 1948, sem incluir Shockley como inventor. Vendo-se preterido, Shockley reagiu de imediato. Verificando a fraca robustez da estrutura proposta por Bardeen/Brattain, Shockley propôs um dispositivo distinto, que submeteu a patente apenas nove dias depois.

Da autoria de Shockley, o novo dispositivo passou a ser designado por Transistor Bipolar de Junções (BJT, *Bipolar Junction Transistor*) e pretendia evidenciar o efeito de transferência de resistência entre duas junções semicondutoras de germânio colocadas muito próximas espacialmente. A ideia subjacente era que este novo dispositivo permitisse que uma pequena corrente injetada num dos seus terminais (Base) pudesse controlar uma corrente muito maior entre os outros dois terminais (Emissor e Coletor). Se assim fosse, este dispositivo estaria apto a realizar as operações de amplificação ou de comutação de sinais. Ficaram assim evidentes as enormes potencialidades deixadas em aberto e, de repente, muitos horizontes pareciam estar bem perto.

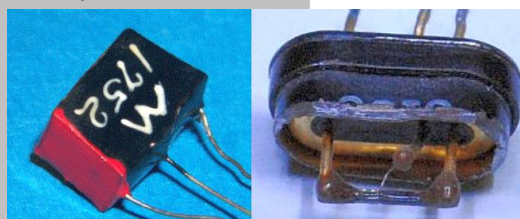
Shockley divided his life between creative science and engineering and his crusade against digenia, in which he invested the last 15 years of his life. He felt that societies should be governed by the intellectual elite, rather than by majority decisions, as with democratic societies.

In forty years, he has made remarkable contributions to the scientific literature, inspired a generation of solid-state physicists and registered over ninety patents for his inventions. Those who have worked with him emphasise his enormous ability to break down a complex problem into its fundamental components and find unique solutions. But there is always the other side of the mirror...

The many faces of the Transistor

The field-effect idea, so beloved by Shockley, dates back to the 1920s, but technological difficulties delayed its practical implementation. Almost three decades later, in late 1947, on Christmas Eve, the leading-edge contact transistor finally appeared, by the Bardeen/Brattain team, using germanium. This device was patented in January 1948, without including Shockley as inventor. Having been passed over, Shockley reacted immediately. Noting the poor robustness of the structure proposed by Bardeen/Brattain, Shockley proposed a different device, which he submitted for patent just nine days later.

By Shockley, the new device became known as the Bipolar Junction Transistor (BJT) and was intended to highlight the effect of resistance transfer between two semiconductor germanium junctions placed in close spatial proximity. The idea was that this new device would allow a small current injected in one of its terminals (Base) to control a much larger current between the other two terminals (Emitter and Collector). If this were the case, this device would be able to perform amplification or commutation operations. The enormous potentialities left open thus became evident, and suddenly many horizons seemed to be very close.



1948 - Transistor de junção M1752, o primeiro produzido pelos Bell Labs, primeiro com encapsulamento em plástico e depois em metal /
1948 - M1752 junction transistor, the first produced by Bell Labs, first with plastic and then metal encapsulation.

Independentemente das configurações assumidas pelo novo dispositivo, os materiais semicondutores tinham finalmente o destino merecido e a possibilidade de ter os seus anos dourados. Foi o que bastou para que o desenvolvimento dos transístores entrasse em ritmo mais acelerado em busca de novas estruturas, novos materiais e novas tecnologias.

Depois da invenção do transístor bipolar de junções pelos *Bell Labs*, a empresa *Raytheon* começou o processo industrial de fabricação destes transístores e, em finais de 1952, apresentou o transístor CK718, o primeiro BJT produzido e comercializado. Em 1952, a *Raytheon* produziu 2000 destes transístores de baixa frequência e estabeleceu contratos com empresas fabricantes de aparelhos de ajuda auditiva. No [Museu Faraday](#) no IST pode ver dois desses aparelhos da marca *Zenith*: o modelo *Royal* (a válvulas, CK549D), de 1951, e o modelo *Royal T* (a transístores, CK718), de 1953.

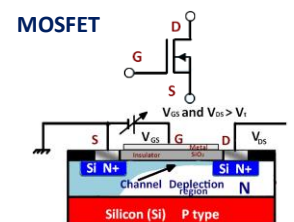
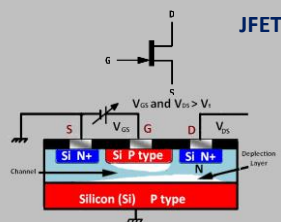
Em 1954, a *Texas Instruments (TI)* fabricou o transístor de silício, material ainda mais robusto, fiável e abundante do que o germânio. O uso de heterojunções, possível através de progressos tecnológicos entretanto verificados, permitiu o aparecimento de um novo transístor cujo funcionamento era similar a um outro dispositivo há muito conhecido, a válvula tríodo, agora substituindo o meio rarefeito entre elétrodos por materiais de estado sólido. O terminal de controlo (grelha) existente entre a placa e o cátodo da válvula passou a ser referido como porta (*gate* em inglês), designação muito comum na área da eletrónica digital, que na altura estava em alta. Ficaram conhecidos como transístores unipolares, por contraposição aos BJT, porque o seu funcionamento era condicionado por apenas um tipo de portadores de carga, enquanto nos bipolares atuavam os eletrões e os buracos (lacunas de eletrões).

Tinham como áreas de aplicação a Eletrónica Analógica e a Amplificação. São exemplos, os transístores de efeito de campo (FET, *Field Effect Transistor*): inicialmente na versão mais simples de junção Metal/Semicondutor (J-FET, *Junction FET*), mais tarde na versão Metal-Óxido-Semicondutor (MOS-FET), em que o semicondutor era o silício e o óxido era o dióxido de silício.

Regardless of the configurations taken on by the new device, semiconductor materials finally had the destiny they deserved and the chance to have their golden years. This was enough for the development of transistors to accelerate in search of new structures, new materials and new technologies.

After the invention of the bipolar junction transistor by Bell Labs, Raytheon began the industrial process of manufacturing these transistors and, in late 1952, presented the CK718 transistor, the first BJT produced and marketed. In 1952, Raytheon produced 2000 of these low frequency transistors and established contracts with companies manufacturing hearing aids. In the [Faraday Museum](#) at IST you can see two of these Zenith devices: the 1951 Royal model (valve driven, CK549D) and the 1953 Royal T model (transistor driven, CK718).

In 1954, Texas Instruments (TI) manufactured the transistor using silicon, a material which was even more robust, reliable and abundant than germanium. The use of heterojunctions, made possible by technological progress in the meantime, allowed the appearance of a new transistor whose operation was similar to another long-known device, the triode valve, now replacing the rarefied medium between electrodes by solid-state materials. The control terminal (grid) between the plate and cathode of the valve came to be referred to as a gate, a term very common in the field of digital electronics, which was on the rise at the time. They became known as unipolar transistors, as opposed to BJTs, because their operation was conditioned by only one type of charge carrier, while in bipolar transistors the electrons and the holes acted. Their application areas were Analogue Electronics and Amplification. Examples are the field effect transistors (FET, Field Effect Transistor): initially in the simpler Junction Metal/Semiconductor version (J-FET), later in the Metal-Oxide-Semiconductor version (MOS-FET), in which the semiconductor was silicon and the oxide was silicon dioxide.



1953- Zenith Royal T (T = transistorized) *Museu Faraday*

Em 1960 era já possível obter muitos transístores numa única placa de silício e cortá-los em unidades individuais. Esta técnica foi modificada para que os transístores já estivessem ligados em circuitos antes do corte da pastilha de silício, conduzindo ao circuito integrado. Transístores mais simples e de alto desempenho foram necessários para satisfazer as exigências cada vez maiores dos computadores, que começaram a depender cada vez mais dos circuitos integrados. Os MOS-FET mostraram ter estruturas adequadas para permitir aumentos assinaláveis dos níveis de integração, que foram apresentando crescimentos exponenciais ao longo dos anos nas sucessivas famílias de circuitos integrados.

Desde 1958, ano de fabrico do 1º circuito integrado pela TI e pela Fairchild, muito se caminhou e desenvolveu no capítulo dos transístores. No seu pedido de patente em 1959, Jack Kilby da TI descreveu o seu novo dispositivo como "a body of semiconductor material".

A ciência e a tecnologia andam sempre associadas, por vezes com algum atraso entre si. As teorias de condução quântica em isoladores, feitas em 1928 por Ralph Fowler e Lothar Nordheim, permitiram, mais tarde, criar novos dispositivos baseados no efeito túnel, tais como as memórias EPROM, EEPROM, nos anos 70, e até as memórias SSD Flash propostas em 1987, por Fujio Mazuoka (60 anos depois de Ralph Fowler e Lothar Nordheim). Estes dispositivos têm revolucionado a maneira como se guarda a informação digital e são ideias que, dada a repercussão que têm na sociedade, podem originar prémios Nobel.

A proposta criativa de realização de transístores *ThinFET* não planares, feita em 1989 por Chenming Hu, permitiu a aplicação prática realizada em 2008 e é a chave para a extrema densidade de mais de 100 milhões de transístores por milímetro quadrado de silício que é possível implementar hoje em dia nos modernos microprocessadores. Mas há novas topologias de transístor e também o uso de outros materiais semicondutores que poderão ainda vir a ser mais revolucionárias.

A era do transístor estará a chegar ao fim? Novos cenários para o efeito de transferência de resistência irão surgir? As questões são legítimas, se se atender que Kilby ganhou em 2000 o Prémio Nobel da Física pela sua colaboração na intervenção do circuito integrado

In 1960, it was already possible to obtain many transistors on a single silicon wafer and cut them into individual units. This technique was modified so that the transistors were already connected into circuits before the silicon wafer was cut, leading to the integrated circuit. Simpler and high-performance transistors were needed to meet the ever-increasing demands of computers, which began to rely more and more on integrated circuits. MOS-FETs were shown to have suitable structures to allow remarkable increases in integration levels, which have grown exponentially over the years in successive integrated circuit families.

Since 1958, when TI and Fairchild manufactured their first integrated circuit, there has been much progress and development in the field of transistors. In his 1959 patent application, Jack Kilby of TI described his new device as "a body of semiconductor material".

Science and technology always go hand in hand, sometimes with some delay between them. The theories of quantum conduction in insulators, developed in 1928 by Ralph Fowler and Lothar Nordheim, later made it possible to create new devices based on the tunnel effect, such as EPROM and EEPROM memories, in the 1970s, and even the SSD Flash memories proposed in 1987, by Fujio Mazuoka (60 years later, after Ralph Fowler e Lothar Nordheim). These devices have revolutionised the way in which digital information is stored and are ideas that, given the impact they have on society, could lead to Nobel prizes.

Chenming Hu's creative proposal in 1989 to make non-planar ThinFET transistors enabled the practical application in 2008 and it is the key to the extreme density of more than 100 million transistors per square millimetre of silicon that can be implemented today in modern microprocessors. But there are new transistor topologies and also the use of other semiconductor materials that could become even more revolutionary. Is the transistor era coming to an end? Will new scenarios for the resistance transfer effect emerge? The questions are legitimate, if one considers that Kilby won



[Calçada Portuguesa](#) e o Transístor / [Portuguese Pavement](#) and the Transistor
Transístor desenhado em [calçada à portuguesa na Universidade de Aveiro](#) /
[Transistor in mosaic on a Portuguese pavement at the University of Aveiro.](#)

monolítico, mostrando que o tema não está esgotado.

O avanço das ciências dos materiais permitiu uma plêiade de materiais, semicondutores ou não, que fazem com que o número de dispositivos da família Transístor não pare de crescer. Sabendo que os prémios Nobel são atribuídos a cientistas em vida, por um trabalho determinado, fica a questão da equação proposta como título deste documento. A história recente mostra que o campo dos nobelizáveis está ainda em aberto em relação ao protagonista Transístor.

Transversalidade é paradigma muito em voga hoje em dia, como estratégia da partilha que conduz a um comportamento mais estruturado e melhor adaptado às necessidades de um mundo, que se pretende global. Transístor é seguramente um tema científico. E transversal. No seu sentido mais abrangente pode invadir o domínio da Arte e estabelecer pontes.

Na Rua *San Antonio*, 391, em *Mountain View*, Califórnia, as memórias de Shockley e Gordon Moore são lembradas numa criativa escultura, que consta de um circuito elétrico com um díodo de Shockley e o transístor 2N696.

Transversalidade também é aquela que é oferecida aos habitantes de Aveiro. Passam por ela, tendo-a aos seus pés, numa criação de interdisciplinaridade muito feliz. Uma representação a preto e branco de um tema que faz 75 anos neste Natal.

the Nobel Prize in Physics in 2000 for his collaboration on the integrated circuit intervention, showing that the subject is not exhausted.

Advances in materials science have allowed a plethora of materials, semiconductor or otherwise, which means that the number of Transistor family devices continues to grow. Knowing that Nobel prizes are awarded to living scientists, for a determined work, the question of the equation proposed as the title of this document remains. Recent history shows that the Nobel field is still open in relation to the protagonist Transistor.

Transversality is a very fashionable paradigm nowadays, as a sharing strategy that leads to a more structured behaviour better adapted to the needs of a world that wants to be global. Transistor is certainly a scientific subject. And a transversal one. In its broadest sense it can invade the domain of Art and establish bridges.

At 391 San Antonio Street in Mountain View, California, the memories of Shockley and Gordon Moore are remembered in a creative sculpture, consisting of an electrical circuit with a Shockley diode and the 2N696 transistor.

Transversality is also offered to the citizens of Aveiro. They pass through it, having it at their feet, in a very happy creation of interdisciplinary. A black and white representation of a theme that turns 75 this Christmas.

Parabéns!

Congratulations!



A escultura no local dos *Shockley Laboratories*, que relembra o início de *Silicon Valley*.
The Sculpture at the Shockley Laboratories site, which recalls the beginnings of Silicon Valley.

Moisés Piedade
 Prof. do IST (aposentado)
 Investigador do [INESC](#) (aposentado)

Carlos Fernandes
 Prof. do IST (aposentado)
 Investigador do [IT](#)

Prof. Abreu Faro
O Pedagogo / The Pedagogue



Quando o transístor foi inventado, em 4 de dezembro de 1947, por Bardeen, Brattain e Shockley, nos Bell Telephone Laboratories, EUA, estava o jovem Abreu Faro no 6º, e último, ano do curso de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior Técnico (IST). Uns dias antes (em 20 de novembro) tinha sido contratado como 2º assistente do IST, para trabalhar com o Prof. Ferrer de Moncada no Grupo de Eletrotecnia Teórica e Medidas Elétricas. Iniciou-se aí uma notável carreira académica, que veio a revelar uma figura multifacetada, que marcou de forma indelével o IST e o mundo académico e científico português da segunda metade do século XX.

Das suas múltiplas facetas, vou aqui realçar a de professor e a de criador das condições materiais e humanas para o desenvolvimento da investigação científica em Portugal. Posso testemunhar diretamente as suas qualidades de professor, pois fui seu aluno na licenciatura ("Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas I e II", 1978 e 1979) e no mestrado ("Propagação e Radiação em Meios em Movimento", 1983), colega na Seção de Propagação e Radiação do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC) (1980-1993) e continuador, como responsável pela disciplina "Propagação e Radiação de Ondas Eletromagnéticas" (2012-2022), que ele criou. Na outra faceta, beneficiei da utilização das infraestruturas de investigação, que a sua ação permitiu criar e desenvolver. Beneficiei ainda da formação avançada, por ele fomentada, de muitos investigadores que fizeram o seu doutoramento no estrangeiro e que vieram a ter uma ação decisiva no desenvolvimento do IST.

Abreu Faro dedicou toda a sua vida profissional ao IST, à "sua escola", como costumava dizer. Foi no IST que fez toda a sua formação como aluno e foi no IST que foi docente durante mais de 46 anos. Nas suas palavras,

When the transistor was invented on 4 December 1947 by Bardeen, Brattain and Shockley at the Bell Telephone Laboratories, the young Abreu Faro was in the 6th and final year of the Electrical Engineering course at the Instituto Superior Técnico (IST). A few days earlier (on November 20) he had been hired as second assistant at IST, to work with Prof. Ferrer de Moncada in the Theoretical Electrotechnics and Electrical Measurements Group. There, he began a remarkable academic career, which revealed a multifaceted figure, who indelibly marked IST and the Portuguese academic and scientific world in the second half of the 20th century.

Of his multiple facets, I will here highlight his qualities as a teacher and as the creator of the material and human conditions for the development of scientific research in Portugal. I can directly testify his qualities as teacher, since I was his student in the graduation ("Propagation and Radiation of Electromagnetic Waves I and II", 1978 and 1979) and in the master's ("Propagation and Radiation in Moving Media", 1983); I was also his colleague in the Propagation and Radiation Section of the Department of Electrical and Computer Engineering (DEEC)(1980-1993) and a follower, as responsible for the discipline "Propagation and Radiation of Electromagnetic Waves" (2012-2022), which was his own creation. On the other perspective, I benefited from the use of the research infrastructures, which by his action he allowed to be created and developed. I also benefited from the professional development training he promoted with many researchers who did their PhD abroad and came to play a decisive role in the development of IST.

Abreu Faro dedicated his entire professional life to IST, to "his school", as he used to say. It was at IST that he did all his training as a student and it was at IST that he was a teacher for over 46 years. In his own words"... the history of Técnico, which I knew like no one else, because I never left here, I always lived here."

More detailed information on Abreu Faro's life and work can be found in the book "Manuel Abreu Faro. A criar bases para a ciência em Portugal", ISBN: 9789896830496 (Fig. 1).

“a história do Técnico, que eu conhecia como ninguém, pois eu nunca saí daqui, vivi sempre aqui.”

Informação mais detalhada sobre a vida e obra de Abreu Faro pode ser encontrada no livro *“Manuel Abreu Faro. A criar bases para a ciência em Portugal”*, ISBN: 9789896830496 (Fig. 1).

Breve biografia

Manuel José Castro Petrony de Abreu Faro nasceu em 26 de novembro de 1923, no Dafundo, freguesia de Carnaxide, concelho de Oeiras. Frequentou os últimos anos do liceu no Liceu de Camões e ingressou no curso de Engenharia Eletrotécnica do IST em 1941. Terminou o curso em 1948 e diplomou-se em agosto de 1949. Como indicado anteriormente, foi contratado como 2º assistente do IST em novembro de 1947 e passou a 1º assistente em fevereiro de 1950. Tornou-se professor catedrático de telecomunicações do IST em abril de 1956.

Foi vice-presidente (1964-1966) e depois presidente (1967-1971) do Instituto de Alta Cultura (IAC). Foi vice-presidente da Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT) (1967-1971). Foi subsecretário de Estado da Administração Escolar (1971-1972). Desempenhou vários cargos no Complexo Interdisciplinar do IAC no IST, em cuja fundação teve um papel determinante, nomeadamente, diretor (1972-1974), presidente da Comissão Diretiva Provisória (1974-1975), e secretário da Comissão Diretiva dos Serviços de Apoio à Investigação e Desenvolvimento (1975-1995). Foi diretor científico da revista Técnica da Associação de Estudante do IST (1984-1998). Foi sócio correspondente (1964-1983), sócio efetivo (1983-1999), sócio emérito (1996) e presidente (1997-1998) da Academia das Ciências de Lisboa.

O Professor

De todas as suas múltiplas e importantes atividades, há uma que se destaca pelo impacto direto que teve na vida de muitas gerações de alunos e futuros engenheiros: a de professor. O próprio Abreu Faro considerava-se um professor, não um cientista. Nas suas palavras, *“Nunca fui um cientista. Estudei, tentei perceber, ensinei o melhor que soube. Mas procurei tudo fazer para que outros, para que vocês, meus alunos, fossem para fora, aprendessem a fazer ciência, a ser cientistas, e talvez, um dia, fazer ciência em Portugal.”*

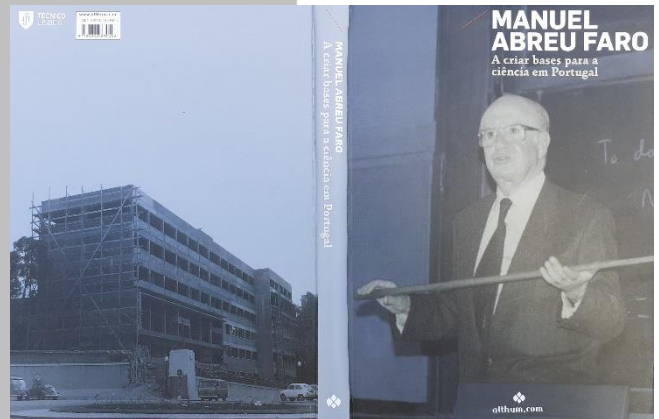


Fig. 1 - Tribute book to Abreu Faro published in 2016 / Livro de homenagem a Abreu Faro editado em 2016.

Brief biography

Manuel José Castro Petrony de Abreu Faro was born on November 26th, 1923, in Dafundo, parish of Carnaxide, municipality of Oeiras. He attended the last years of high school at Liceu de Camões and joined the Electrical Engineering course at IST in 1941. He finished the course in 1948 and graduated in August 1949. As indicated above, he was hired as 2nd assistant at IST in November 1947 and became 1st assistant in February 1950. He became full professor of telecommunications at IST in April 1956.

He was vice-president (1964-1966) and then president (1967-1971) of the Instituto de Alta Cultura (IAC). He was vice-president of the Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica (JNICT) (1967-1971). He was under-secretary of State for School Administration (1971-1972). He held various posts in the IAC, Interdisciplinary Complex (IC) at IST, in whose creation he played a decisive role, namely director (1972-1974), president of the Provisional Directive Commission (1974-1975), and secretary of the Directive Commission of the Services Supporting Research and Development (1975-1995). He was scientific director of the Técnica review of the Student Association of IST (1984-1998), and correspondent member (1964-1983), effective member (1983-1999), emeritus member (1996) and president (1997-1998) of the Lisbon Academy of Sciences.

The Professor

Of all his multiple and important activities, there is one that stands out for the direct impact it had on the lives of many generations of students and future engineers:

Durante a sua longa carreira, Abreu Faro sempre optou por uma dedicação total e quase exclusiva às suas atividades no IST. No final da sua carreira, esta era uma situação comum à grande maioria dos professores, mas tal não acontecia no início, onde poucos, como ele, não exerciam uma atividade profissional privada paralela. Esta sua opção veio a ter um grande impacto no desenvolvimento do IST, em geral, e do DEEC, em particular.

Focado no IST, dedicou grande parte do seu tempo ao ensino. Concebeu programas modernos para as cadeiras de telecomunicações que regia. Elaborou textos de apoio ao ensino onde, de uma forma rigorosa, suportava as matérias lecionadas. Apesar do rigor matemático que sempre seguiu, dava grande ênfase à interpretação física dos fenómenos estudados e às suas aplicações em engenharia. Aliava um profundo conhecimento teórico a uma grande capacidade de elaboração prática. Para além disso, sempre evidenciou a preocupação de realçar os aspetos humanos da criação científica e dos processos de ensino e aprendizagem. Nas suas palavras, “*por isso, sem escrever, nas minhas aulas, onde sabia possível, nunca enjitei a possibilidade de humanizar, comparar, trazer a matemática e a física para o drama e a poesia do homem.*”

As aulas

Todos os que foram seus alunos se lembram das suas aulas, cativantes e motivadoras, onde de uma forma viva, clara, rigorosa, entusiástica e contagiante abordava os temas das telecomunicações. Havia sempre o sorriso franco, a palavra afável e a disponibilidade para partilhar o seu saber.

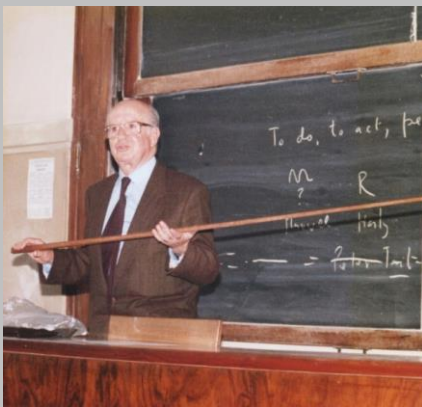


Fig. 2 - Abreu Faro na sua última aula (7 de junho de 1994) /
Abreu Faro in his last class (7 June 1994).

that of teacher. Abreu Faro considered himself a teacher, not a scientist. In his words, "I was never a scientist. I studied, tried to understand, taught as best I could. But I tried to do everything, so that others, so that you, my students, would go abroad, learn to do science, to be scientists, and perhaps, one day, do science in Portugal."

During his long career, Abreu Faro always opted for a total and almost exclusive dedication to his activities at IST. This was a situation common to the great majority of professors at the end of their career; but this was not the case at the beginning of careers, where few, like him, did not have a parallel private professional activity. This choice had a great impact on the development of IST, in general, and DEEC, in particular.

Focused on IST, he devoted much of his time to teaching. He designed modern programmes for the telecommunications subjects he taught. He wrote texts to support his teaching, where, in a rigorous way, he supported the subjects taught. Despite the mathematical rigour that he always followed, he gave great emphasis to the physical interpretation of the studied phenomena and to their applications in engineering. He combined a profound theoretical knowledge with a great capacity for practical elaboration. In addition, he was always concerned to emphasise the human aspects of scientific creation and of the teaching and learning processes. In his own words, "that is why, without writing, in my classes, where I knew it was possible, I never rejected the possibility of humanising, comparing, bringing mathematics and physics into the drama and poetry of man".

Lectures

All those who were his students remember his classes, captivating and motivating, where, in a lively, clear, rigorous, enthusiastic and contagious way, he approached the telecommunications themes. There was always a frank smile, a kind word and the availability to share his knowledge.

Due to the impact they caused, some images remained engraved forever in the memory of the pupils of Abreu Faro. Among many, a notable case is the competition that, in his hands, the coloured sticks of chalk made between themselves, with the pointer and with the

Pelo impacto que causaram, algumas imagens ficaram gravadas para sempre na memória dos alunos de Abreu Faro. Entre muitas, um caso notável é o da competição que, nas suas mãos, os paus coloridos de giz faziam entre si, com o ponteiro e com o cigarro fumegante, sempre presente, para representarem os vetores campo elétrico, campo magnético ou direção de propagação da onda plana. Nesta imagem Abreu Faro está de braços abertos sobre o estrado, por trás da grande secretária do anfiteatro GA3, com os quadros elevatórios de ardósia preta como pano de fundo. Há quem diga que, algumas vezes, depois da missão de vetor cumprida, um pau de giz tentou substituir o cigarro.

Ao longo da sua carreira docente de mais de 46 anos, Abreu Faro concebeu os programas e lecionou muitas disciplinas do curso de Engenharia Eletrotécnica (designado por Engenharia Eletrotécnica e de Computadores a partir de 1984). Depois de reforma do ensino da engenharia de 1970 passou a lecionar as disciplinas semestrais indicadas na Tab. 1.

No ano letivo de 1978/1979 as disciplinas de fundamentos de telecomunicações passaram a ser da responsabilidade de José Fonseca de Moura. Lecionou ainda a disciplina “Propagação e Radiação em Meios em Movimento” no curso de mestrado pré-Bolonha em Engenharia Eletrotécnica.

Os textos de apoio ao Ensino

Desde muito cedo, Abreu Faro deu grande importância à produção de textos de apoio ao ensino das disciplinas de que era responsável. Logo no primeiro ano letivo (1956/57) em que foi responsável por “Telecomunicações”, patrocinou a edição duma sebenta. Como era tradição, esta primeira sebenta foi feita por alunos. No entanto, a partir daí, rompeu com a tradição e passou ele próprio a escrever os textos que eram editados pela Seção de Folhas da Associação de Estudantes do IST (AEIST). Sempre que uma nova matéria era introduzida no programa duma das suas disciplinas, ele escrevia um texto de apoio com uma descrição detalhada dos fundamentos teóricos necessários à boa compreensão dessa matéria, que era editada pela Seção de Folhas da AEIST. Para além de 23 sebentas, editadas entre 1956 e 1990, escreveu ainda os livros sobre “Propagação e Radiação de Ondas Electromagnéticas”, PROE, indicados na Fig. 3.

Abreu Faro ensinava nos anfiteatros que tinham réguas de cálculo gigantes.
 Abreu Faro taught in the IST amphitheatres that had giant slide rules.
[Podcast Slide Rule](#)

smoking cigarette, always present, to represent the electric field vectors, magnetic field or direction of propagation of the plane wave. In this image, Abreu Faro is standing with his arms open on the dais, behind the large desk of the GA3 amphitheatre, with the black slate elevating frames as a backdrop. Some say that sometimes, after the vector mission was accomplished, a stick of chalk tried to replace the cigarette.

Throughout his teaching career of more than 46 years, Abreu Faro designed the Syllabuses of and taught many subjects of the Electrical Engineering course (designated as Electrical and Computer Engineering, from 1984 onwards). After the reform of engineering education in 1970 he started teaching the semester subjects listed on Tab.1.

- “Fundamentos de Telecomunicações I”, 4th year, 1st semester;
- “Propagação e Radiação de Ondas Electromagnéticas PROE I”, 4th year, 1st semester;
- “Fundamentos de Telecomunicações II”, 4th year, 2nd semester;
- “Propagação e Radiação de Ondas Electromagnéticas II”, 4th year, 2nd semester.

Tab. 1- Disciplines proposed and taught by Abreu Faro / Disciplinas propostas e lecionadas por Prof. Abreu Faro.

In the academic year of 1978/1979 the disciplines of “Fundamentos de Telecomunicações” became under the responsibility of José Fonseca de Moura. He also taught the subject “Propagação e Radiação em Meios em Movimento” in the pre-Bologna Masters course in Electrical Engineering.

Teaching supporting texts

From very early on, Abreu Faro gave great importance to the production of texts to support the teaching of the subjects he was responsible for. During his first school year (1956/57), when he was responsible for “Telecomunicações”, he sponsored the publication of a compendium. As was tradition, this first book was made by students. However, from then on, he broke with tradition and started writing the texts himself, which were edited by the Leaflets Section of the IST Students' Association (AEIST).

Whenever a new subject was introduced in the syllabus of one of his disciplines, he would write a supporting text with a detailed description of the theoretical foundations necessary for a good understanding of that subject, which was edited by the AEIST's Leaflets Section. Apart from 23 volumes, published between



- Ondas e Meios Materiais. Técnica, AEIST, 1979.
- Radiação. Técnica. AEIST, 1980.
- Propagação Guiada. Técnica, AEIST, 1984.



**Fig. 3 - Livros de Abreu Faro /
Abreu Faro's books.**

Já depois da jubilação, publicou um livro intitulado “A Peregrinação de um Sinal”, ISBN: 9789726623960, editado pela Gradiva em 1995, que se pode considerar o seu testamento intelectual, onde faz uma síntese dos temas das telecomunicações que estudou e ensinou ao longo da vida, abordados de uma forma simples, mas rigorosa, acessível a um público não especializado. O próprio Abreu Faro diz isso no final da introdução deste livro: *“Depois de escrever livros, muitas páginas, fortemente matematizados, perdi o receio de não ser assim. Digamos que este livro aproveita e capta espaços não transcritos das minhas aulas. Espaços em que me agrada mover-me.*

Usámos pouca matemática. Alguma, no entanto, foi necessária. Em apêndice acrescentámos e esclarecemos para quem por isso se interessar.

A mensagem que se envia, a intenção primeira, é humanizar, trazer para a nossa sensibilidade e sentimentos do dia a dia coisas que é quase pecado, para alguns, querer aprender.

Não digamos entender, digamos sentir, que é bem mais do que a inteligência que nos leva lá.

No entanto, procurámos ser rigorosos.

Perfeitos, nem pensar, seria contra a essência do humanismo em que nos queremos. Não tão humildemente, no direito e esperança de poder sonhar.”

As provas de avaliação

Todas as provas de avaliação e documentação de apoio à preparação dos alunos para essas provas, encontradas no arquivo de Abreu Faro, são manuscritas pelo seu próprio punho. Como exemplo, em anexo mostra-se o enunciado do último exame (PROE II) que ele elaborou.



**Abreu Faro
HP 35**

Museu Faraday

1956 and 1990, he also wrote books related to “Propagation and Radiation of Electromagnetic Waves”, PROE, referred in Fig. 3.

After his retirement, he published a book entitled “The Pilgrimage of a Sign”, ISBN: 9789726623960, published by Gradiva in 1995, which can be considered his intellectual testament, where he makes a synthesis of the telecommunication’s themes he studied and taught throughout his life, approached in a simple but rigorous way, accessible to a non-specialised public. Abreu Faro himself says that at the end of the introduction of this book: “After writing books, many pages, heavily mathematized, I lost the fear of not being so.

Let's say that this book takes advantage and captures non-transcribed spaces of my classes. Spaces in which I like to move.

We used some mathematics. However, some was necessary. In the appendix we have added and clarified for those who are interested.

The primary intention of the message being sent is to humanise: to bring to our sensibility and everyday feelings things that being willing to learn them is almost a sin.

Let us not say understand, let us say feel, which is much more than the intelligence that takes us there.

However, we tried to be rigorous.

Perfect, no way, it would be against the essence of the humanism in which we want ourselves. Not so humbly, in the right and hope of being able to dream”

The assessment tests

All the assessment tests and supporting documentation to prepare the students for these exams, found in Abreu Faro's archive, are handwritten by his own hand. As an example, annexe shows the wording of the last exam (PROE II) that he prepared.

Until the end of the 1960s, the assessment was made through tests throughout the year (then called "frequencies") and by final examinations. After the curriculum reform of 1970 and until the beginning of the 1980s, there was assessment work done in groups, validated by an oral discussion with individual grading. In the initial phase, these group works replaced tests and

Até ao final da década de 1960, a avaliação foi efetuada através de testes ao longo do ano (então designadas por “frequências”) e por exames finais. Depois da reforma curricular de 1970 e até ao início da década de 1980, existiram trabalhos de avaliação feitos em grupo, validados por uma discussão oral com classificação individual. Na fase inicial, substituíram os testes e exames e, mais tarde, complementaram-nos. Existia sempre uma prova oral obrigatória para as classificações mais elevadas e havia um grande esforço de homogeneização dos critérios utilizados pelos vários docentes intervenientes na classificação das provas de avaliação.

Abreu Faro proporcionava aos alunos meios para se prepararem de forma sistemática e consistente para as provas de avaliação. Elaborou inúmeras coleções de problemas e de problemas complementares associados aos vários capítulos das matérias das várias disciplinas que lecionou. Elaborou também listas muito completas de questões fundamentais. Como exemplo, pode ver em anexo um excerto da primeira página da lista de questões fundamentais sobre o capítulo de fibras óticas.

O Criador de Bases para a Investigação Científica em Portugal

Apesar de não se sentir um cientista, na acessão geral da designação, Abreu Faro fez investigação científica em muitos momentos da sua vida, em diferentes temas que lhe foram surgindo, mas normalmente na perspectiva de entender para poder ensinar. A sua missão foi a de criar condições para que outros, nomeadamente os seus alunos, tivessem condições para serem cientistas. Mais uma vez, nas suas palavras, “Nunca fui um cientista. Estudei, tentei perceber, ensinei o melhor que soube. Mas procurei tudo fazer para que outros, para que vocês, meus alunos, fossem para fora, aprendessem a fazer ciência, a ser cientistas, e talvez, um dia, fazer ciência em Portugal.”

Em meados do século passado, no que respeita à investigação científica, como em quase tudo, Portugal estava profundamente atrasado, e isolado, em relação à maioria dos países europeus. Havia alguns centros de investigação no país (alguns deles no IST) mas a sua atividade era muito incipiente e tinha até regredido. Abreu Faro tinha noção dessa situação, como indicam as suas palavras “alguns esperançosos embriões foram desfeitos por motivos de natureza política, o que, além

examinations and later complemented them. There was always a compulsory oral test for the highest marks and there was a great effort to homogenise the criteria used by the various teachers intervening in the marking of the assessment tests.

Abreu Faro provided the students the means to prepare systematically and consistently for the assessment tests. He elaborated numerous collections of problems and complementary problems associated with the various chapters of the subjects of the various disciplines he taught. He also prepared very comprehensive lists of fundamental questions. As an example, see in annexe an excerpt from the first page of the list of fundamental questions on the fibre optics chapter.

The Creator of Bases for Scientific Research in Portugal

Although he did not feel like a scientist in the general sense of the term, Abreu Faro did scientific research at many moments in his life, on different themes that came to him, but normally with the perspective of understanding in order to be able to teach. His mission was to create conditions for others, namely his students, to be able to become scientists. Again, in his words, “I was never a scientist. I studied, I tried to understand, I taught as best I could. But I tried to do everything so that others, so that you, my students, could go abroad, learn to do science, to be scientists, and maybe, one day, do science in Portugal.”

In the middle of the last century, regarding scientific research, as in almost everything, Portugal was deeply behind, and isolated, in relation to most European countries. There were some research centres in the country (some of them in IST), but their activity was very incipient and had even regressed. Abreu Faro was aware of this situation, as his words indicate “some hopeful embryos were undone for reasons of political nature, which, besides being serious, was sad.”

In order to fulfil the mission of helping to create the conditions for doing scientific research in Portugal in a consistent and continuous manner, Abreu Faro was involved, from the mid-1960s, in various university education, science and technology management institutions. As indicated in his biography, he was Vice - President and then President of the IAC and Vice-President of JNICT. He was also undersecretary of State for School Administration. His involvement in these, and other



Abreu Faro
Philips EL 3300

Museu Faraday

de grave, foi triste.”

Para cumprir a missão de ajudar a criar condições para se poder fazer, em Portugal, investigação científica de forma consistente e continuada, Abreu Faro esteve envolvido, a partir de meados da década de 60, em várias instituições de gestão de ensino universitário, ciência e tecnologia. Como indicado na biografia, foi vice-presidente e depois presidente do IAC e vice-presidente da JNICT. Foi também subsecretário de Estado da Administração Escolar. O seu envolvimento nestas, e noutras instituições, foi muito importante para a criação do Complexo Interdisciplinar (CI) e construção do seu edifício no campus do IST, o lançamento de concursos para financiamento de projetos de investigação científica e a concessão de bolsas para obtenção de doutoramento em instituições internacionais de grande prestígio.

O CI entrou em funcionamento em 1973; agregava 6 laboratórios, o Núcleo de Estudo e Construção de Aparelhagem Científica, o Serviço de Documentação Científica e os Serviços Administrativos e teve Abreu Faro como primeiro diretor. Dois desses laboratórios, o Laboratório de Eletrodinâmica e o Laboratório de Análise de Sinais, eram da área da Engenharia Eletrotécnica. Em 1975 estes dois laboratórios tiveram as suas designações alteradas para Centro de Eletrodinâmica das Universidades de Lisboa e Centro de Análise e Processamento de Sinais das Universidades de Lisboa, e posteriormente, em 1995, com a passagem do CI para centro de investigação do IST, para Centro de Eletrodinâmica (CE) e Centro de Análise e Processamento de Sinais (CAPS).

O CI teve um grande impacto no panorama científico nacional, tendo chegado a acolher (em 1985) mais de 400 investigadores e técnicos. Na fase inicial, muitos dos investigadores que ali desenvolveram a sua atividade de investigação fizeram o seu doutoramento no estrangeiro com bolsas financiadas pelo IAC/INIC/JNICT.

Deve-se também referir que muitos dos atuais institutos de investigação associados ao DEEC do IST tiveram a sua génese no CE ou no CAPS, ver Tab. 2.

Muitos dos investigadores que tiveram um papel fundamental na criação destes institutos, ou de outros, ou que tiveram uma ação de grande notoriedade na criação ou fortalecimento da rede de investigação científica e desenvolvimento nacional, pertenceram a



Abreu Faro

[PODCAST Kit de eletromagnetismo / Eletromagnetism kit](#)
Museu Faraday

institutions, was very important for the creation of the Interdisciplinary Complex (IC) and the construction of its building on the IST campus, the launching of calls for tender to finance scientific research projects and the granting of scholarships to obtain doctorates in highly prestigious international institutions.



Fig. 4 - Edifício do CI em 1973 e na atualidade (2022) / The IC building in 1973 and today (2022).

The IC started operating in 1973; it aggregated 6 laboratories, the Centre for the Study and Construction of Scientific Apparatus, the Scientific Documentation Service and the Administrative Services and had Abreu Faro as its first director. Two of these laboratories, the Electrodynamics Laboratory and the Signal Analysis Laboratory, were in the field of Electrical Engineering. In 1975 these two laboratories had their names changed to Centre for Electrodynamics and Centre for Signal Analysis and Processing, and later, in 1995, when the IC became a research centre of IST, to Centre for Electrodynamics (EC) and Centre for Signal Analysis and Processing (CAPS).

The IC had a great impact on the national scientific panorama, having hosted (in 1985) more than 400 researchers and technicians. In the initial phase, many of the researchers who developed their research activities there did their PhDs abroad with grants financed by IAC/INIC/JNICT.

It should also be mentioned that many of the current research institutes associated with the DEEC of IST had their genesis in the EC or CAPS, see Tab. 2.

- [Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores – INESC \(1980\);](#)
- [Instituto de Telecomunicações – IT \(1992\);](#)
- [Instituto de Sistemas e Robótica – ISR \(1992\);](#)
- [Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear – IPFN \(2008\).](#)

Tab.2 – Institutes derived from CAPS / Institutos derivados do CAPS.

IPFN resulted from the merger of the Centro de Fusão Nuclear (1987) and the Centro de Física de Plasmas (1996) /O IPFN resultou da junção do Centro de Fusão Nuclear (1987) com o Centro de Física de Plasmas (1996).

Many of the researchers who played a key role in the creation of these institutes, or others, or who had a highly noticeable action in the creation or strengthening of the

unidades do CI e/ou beneficiaram de bolsas de doutoramento do IAC/INIC/JNICT. Podem referir-se como exemplos, atendendo ao impacto das suas ações; José Mariano Gago (ministro da Ciência e Tecnologia de 1995 a 2002 e ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de 2005 a 2011), Carlos Salema (fundador do IT), João Sentieiro (fundador do ISR), José Fonseca de Moura (professor da *Carnegie Mellon University* e presidente do IEEE, que tem mantido com o IST uma estreita relação de colaboração) e José Tribolet (fundador do INESC). Todas estas personalidades foram alunos de Abreu Faro e depois disso mantiveram com ele uma relação de proximidade.

national scientific research and development network, belong to IC units and/or benefited from PhD grants from IAC/INIC/JNICT. Examples, given the impact of their actions, are José Mariano Gago (Minister of Science and Technology from 1995 to 2002 and Minister of Science, Technology and Higher Education from 2005 to 2011), Carlos Salema (founder of IT), João Sentieiro (founder of ISR), José Fonseca de Moura (professor at Carnegie Mellon University and president of IEEE, which has maintained a close collaboration relationship with IST) and José Tribolet (founder of INESC). All these personalities were students of Abreu Faro and kept a close relationship with him thereafter.



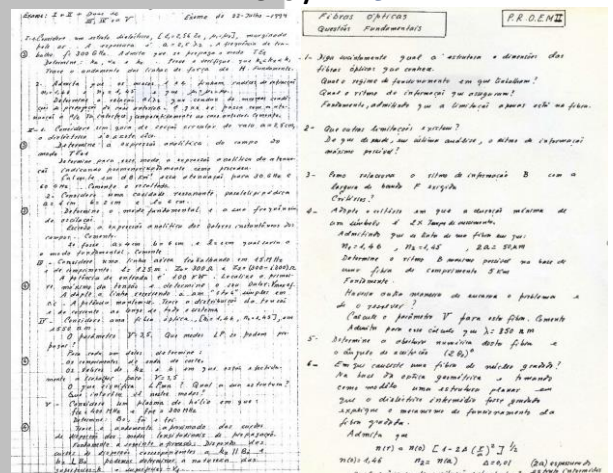
Prof. Abreu Faro
Caricaturado pelos alunos /
Caricatured by students

Prof. Abreu Faro no Museu Faraday / Professor Abreu Faro in Faraday Museum

No Museu Faraday do IST colecionámos alguns objetos do Prof Abreu Faro nomeadamente: textos, um kit pedagógico de eletromagnetismo, o primeiro gravador de cassetes compactas Philips EL 3300, de 1963, e a primeira calculadora científica de bolso, HP 35, de 1972.

At IST's Faraday Museum we collected some of Prof. Abreu Faro's objects, namely: texts, an electromagnetism pedagogical kit, the first compact cassette recorder Philips EL 3300, from 1963, and the first scientific pocket calculator, HP 35, from 1972.

Anexo / Annex



Excerto da primeira página da lista de questões sobre fibras óticas / Excerpt from the first page of the list of questions on the fiber optics.

Custódio Peixeiro
Prof. Auxiliar do IST
Investigador do **I.T.**

[Leia e Ouça / Read and Listen up](#)

[Podcast](#)



Na seção ARTE E CIÊNCIA desta edição caiu-me a missão de escrever sobre alguém que me conhece desde o dia em que nasci. Ver de perto não é forçosamente ver bem. E ainda por cima não tenho a desculpa de não ter tido um acesso facilitado a uma recolha de dados biográficos. Neste relato, a sequência dos acontecimentos não foi determinante e seria seguramente uma missão impossível. José escreveu a sua vida tal como conta estórias, em percursos que tornam a travessia dos Andes quase linhas retas. Apertem os cintos, pois iremos viajar muito, zig-zagueando sobretudo por Luanda, Porto, Paris e, claro, Lisboa.

Os primeiros anos: a infância (1948-1959)

José Ferreira Fernandes nasceu numa década que começou em fúria e acabou em euforia. O facto em si não me parece importante porque, normalmente, esses dois estados de alma andam um atrás do outro e acabam por se ir complementando. Obviamente que falo de almas de grupos. Contudo, nas almas individuais deixam por vezes marcas profundas. O José é um exemplo típico disso. Que o fez ver um “mundo que foi sempre continuando a não ser como era”.

José nasceu em 1948. Ano em que foi assassinado Gandhi, em que entrou em vigor o Plano Marshall na Europa, em que foi criado o Estado de Israel, em que foi decretada a Declaração dos Direitos do Homem pela ONU, em que o mundo assistiu atónito à construção do muro de Berlim, em que se criou a República Popular da Coreia do Norte, em que o mundo passou a conhecer o grande invento do ano anterior, o transistor de contacto, feito por três físicos nos EUA, que acabaram por receber, oito anos mais tarde, o prémio Nobel.

A década dos anos 50 testemunhou o início precoce de novas tecnologias (tais como computadores, energia nuclear e propulsão a jato) num ambiente inicial de

Quem é mais velho, o José ou o Transistor? / Who is older, José or Transistor?

In the section ART & SCIENCE of this edition, it fell to me to write about someone who has known me since the day I was born. To see up close is not necessarily to see well. And what is more, I do not have the excuse of not having had easy access to a collection of biographical data. In this text, the sequence of events was not decisive and it would certainly be an impossible mission. José wrote his life as he tells stories, in routes that make crossing the Andes almost straight lines. So, fasten your seatbelts, as we will be travelling a lot, zig-zagging mainly through Luanda, Porto, Paris and, of course, Lisbon.

The early years: childhood (1948-1959)

José Ferreira Fernandes was born in a decade that began in anger and ended in euphoria. The fact itself does not seem important, because, normally, these two states of mind go one after the other and end up complementing each other. Obviously I am speaking of souls of groups. However, in individual souls they sometimes leave deep marks. José is a typical example of this. That made him see a "world that was always going on not the way it was".

José was born in 1948. It was the year that Gandhi was assassinated, that the Marshall Plan came into force in Europe, that the State of Israel was created, that the UN decreed the Declaration of Human Rights, that the world watched in astonishment as the Berlin Wall was built, that the People's Republic of North Korea was created, that the world made acquaintance with the great invention of the previous year, the contact transistor, by a team of three physicists in the USA, who ended up receiving the Nobel Prize eight years later.

The 1950s witnessed the early start of new technologies (such as computers, nuclear power and jet propulsion) in an early war effort environment, which later in the post-war period would be adapted and improved. In this context, Lisbon began to lag behind most European capital cities and clearly lost the



esforço de guerra, que, mais tarde no pós-guerra, seriam adaptadas e melhoradas. Neste contexto, Lisboa começou a atrasar-se em relação à maioria das cidades capitais europeias, e nitidamente perdeu o lugar de destaque que tivera anos antes. Tudo poderia chegar, mas sempre uns anos depois.

Resultados de uma guerra em que não entrou e de uma paz em que (não) dividiu as benesses com outros necessitados mais poderosos.

Luanda, onde José nasceu e uma das suas paixões geográficas, a primeira, apesar de estar sob a alçada de Lisboa não saiu prejudicada, muito pelo contrário. A capital da província de Angola era nessa altura uma cidade que servia de laboratório português aos sonhos dos anos dourados muito em voga no Brasil e nos EUA, apresentando nos finais dos anos 50 um crescimento sem paralelo no universo português. O ambiente vivido era mais colorido, mais otimista. As sementes estavam lançadas para fazer germinar o José que eu julgo conhecer.



A casa da infância em Luanda / *The childhood home in Luanda.*

Como diz o provérbio chinês, “quando as raízes são profundas, não há razão para temer o vento”. Luanda, nesta fase da vida do José, foi sem dúvida um porto seguro. Período apenas interrompido com um brevíssimo “interregno” em 1950, ainda bebé, no Porto, cidade natal dos nossos pais. Nessa altura, a chamada *Linha Aérea Imperial* da TAP dava também os seus primeiros passos, ligando com bimotores Lisboa, Luanda e Lourenço Marques em viagens que demoravam cerca de 15 dias (ida e volta) com 12 escalas! O barco pareceu, portanto, a opção mais adequada para este primeiro vaivém. E com quase toda a segurança se pode afirmar que a viagem de regresso para Luanda foi palco da primeira grande decisão da vida do José. Com um empurrãozinho dado pelo nosso pai, convenhamos. Muitos anos mais tarde, no calor da noite em Luanda em serões passados em minha casa com os meus amigos escutei vezes sem conta o pai, nos seus divertidos relatos sobre a Luanda

prominent place it had years before. Everything would eventually arrive, but always a few years later. The results of a war that it did not enter and a peace in which it (did not) share the benefits with other more powerful needy countries.

Luanda, where José was born and one of his geographical passions, the first, despite being under Lisbon's jurisdiction was not harmed, quite the contrary. The capital of the province of Angola was at the time a city that served as a Portuguese laboratory for the dreams of the golden years that were so much in vogue in Brazil and the USA, with growth at the end of the 1950s that was unparalleled in the Portuguese world. The atmosphere was more colourful and optimistic. The seeds were sown to make the José, which I think I know, germinate.

As a Chinese proverb says, "When the roots are deep, there is no reason to fear the wind". Luanda, in this phase of José's life, was undoubtedly a safe port. This period was only interrupted by a very brief "interregnum" in 1950, when he was still a baby in Oporto, our parents' home town. At that time, the so-called Imperial Airline of TAP was also taking its first steps, connecting Lisbon, Luanda and Lourenço Marques with twin-engined aircraft on journeys that took around 15 days (round trip) with 12 stopovers! The boat therefore seemed the most appropriate option for this first shuttle. It is safe to say that the return trip to Luanda was the scene of the first big decision of José's life. With a little push from our father, we must admit. Many years later, in the heat of the night in Luanda, during evenings spent at my house with my friends, I heard over and over again our father, in his amusing tales about the Luanda in former times, tell the episode with all the "frills": after several attempts, he managed to convince José to end a vice that had accompanied him since birth and make him throw his dummy overboard. It seems that they both regretted it right away, for different reasons, but that's a detail.

Returning to Oporto. It seems that baby José delighted his family and marvelled by the trams that ran through the city. The toponymy of the tram line nº4 announced by the conductor caused him a certain confusion. This foreshadowed that semantics would soon become one of his concerns.

do antigamente, contar o episódio com todos os “floreados”: após várias tentativas conseguiu convencer o José a terminar com um vício que o acompanhava desde a nascença e fazê-lo atirar com a chupeta pela borda fora. Parece que se arrependeram ambos logo de seguida, por razões diferentes, mas isso são pormenores.

Voltando ao Porto. Segundo consta, parece que o bebé José fez as delícias da família e ficou encantado com os elétricos que percorriam a cidade. A toponímia da linha nº4 do eléctrico anunciada pelo condutor causou-lhe uma certa confusão. Prenúncio de que a semântica cedo iria ocupar uma das suas preocupações.



O eléctrico no Porto e o centro do Porto no final dos anos 50 /
The tram in Oporto and the centre of Oporto in the late 1950s.

Regressou ao Porto em 1958, onde permaneceu até 1960, fazendo o 1º ciclo dos liceus no Colégio Brotero na Foz do Douro.

Porto foi assim, a paixão que se seguiu. Nesta cidade, o seu olhar observador e crítico deu conta que humildade e dignidade não são antónimos. Nem sinónimos.

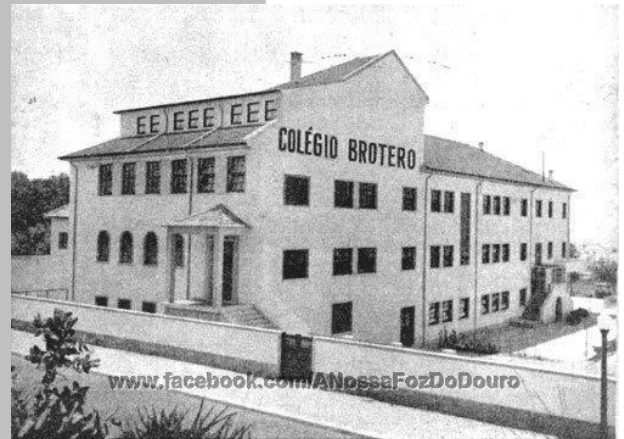
Durante esse período, para matar saudades, durante as férias voltou a Luanda. Que ficava já ali a 15 horas de distância. E foi assim que fez o seu batismo de avião nos bonitos Super-Constellation da TAP, adquiridos para garantir uma autonomia de voo que permitisse colmatar o isolamento internacional imposto a Portugal.

A adolescência (1960-69)

Pois, é sempre assim. Estica-se a corda e ela acaba por dar de si. Ou rebentar. E o início da década de 60, coincidindo com o início do seu 2º ciclo de aprendizagem da vida, trouxe a tormenta para o



O liceu Salvador Correia, inaugurado em 1942 /
The Salvador Correia High School, opened in 1942.



Brotero School / O Colégio Brotero.

He returned to Oporto in 1958, where he remained until 1960, doing the first cycle of secondary education in the Brotero College in Foz do Douro.

Porto was thus the passion that followed. In this city, his observant and critical eye realised that humility and dignity are not antonyms. Nor are they synonyms.



Super- Constellation; Lisboa - Luanda - L. Marques.

During that period, to get over his homesickness, during the holidays he returned to Luanda. Which was just 15 hours away. And that's how he took his first steps on TAP's beautiful Super-Constellation aircraft, acquired to ensure flight autonomy needed to overcome the international isolation imposed on Portugal.

Adolescence (1960-69)

Yes, it's always like that. You stretch the rope and it eventually gives way. Or break. And the beginning of the 60s, coinciding with the beginning of his second learning cycle in life, brought a storm into José's environment, in which I was already included. Transcontinental Portugal began to open up breaches. First in the distant territories of Goa, Damão and Diu. Soon the so-called overseas provinces in Africa followed.

ambiente do José, onde eu já me incluía. O Portugal transcontinental começou a abrir brechas. Primeiro nos longínquos territórios de Goa, Damão e Diu. Depressa se seguiram as chamadas províncias ultramarinas em África.

Deixando o Porto para trás, regressou a Luanda com 12 anos e fez o 2º ciclo dos liceus no Colégio Os Maristas de 1960 a 1962 e o 3º ciclo no mais emblemático dos liceus de Luanda, o Liceu Salvador Correia, de 1963 a 1965.

O mundo exterior já mexia tanto que mesmo dentro do “casulo” se sentia a turbulência. E o José, com muito jogo de cintura, foi tomando consciência das ambiguidades na vida. O problema é que o sistema envolvente também tinha consciência delas. O que baralhava as ideias.

Integrados na Universidade Portuguesa foram criados nas províncias de Angola e de Moçambique os Estudos Gerais Universitários (EGU) em 1962. Os EGU abriram em Angola as atividades escolares no ano de 1963-64 em várias especialidades (Ciências Pedagógicas, Engenharia, Medicina, Agronomia e Silvicultura, Veterinária). Estas não eram as áreas onde o José se movia no 3º ciclo do ensino secundário no liceu Salvador Correia e, portanto, uma nova viagem para a “metrópole” para a entrada na universidade começou a ser planeada. Estou convencido que se o José fosse um aficionado da Engenharia ou da Medicina, o “divórcio” com Luanda ter-se-ia dado na mesma. Deixou Luanda em 1965, onde só regressaria 11 anos depois, já numa Angola independente. Também para uma estada muito breve. O seu horizonte em 1965 transferia-se para o Hemisfério Norte onde a movida era bem mais forte do que na aparente pacata Luanda. E lá entrou o Porto em cena de novo. Numa relação que se adivinhava marcante, mas, se calhar também por isso, transitória. Um pouco antes, mais propriamente em 1963, aparecia em Liverpool um grupo rock que produziu um verdadeiro “vendaval” na juventude do chamado mundo ocidental.

A vida universitária em Portugal continental, com um movimento associativo, já em plena marcha, e o envolvimento político do José nos finais da década de sessenta conduziram a um novo momento disruptivo da sua história. Depois de 2 anos na Universidade do Porto entre Economia e Filosofia, foi chamado para o

Leaving Oporto behind, he returned to Luanda at the age of 12 and did his secondary education at “Os Maristas” from 1960 to 1962 and his secondary education at the most emblematic of Luanda's secondary schools, the Salvador Correia High School, from 1963 to 1965.

The outside world was already moving so much that even inside the “cocoon” the turbulence was felt. And José, with a great deal of resourcefulness, became aware of the ambiguities in life. The problem was that the surrounding system was also aware of them. This muddled his ideas.

The General University Studies (EGU) were created in 1962 in the provinces of Angola and Mozambique as part of the Portuguese University. The EGU opened school activities in Angola in 1963-64 in various specialties (Pedagogical Sciences, Engineering, Medicine, Agronomy and Forestry, Veterinary). These were not the areas where José was moving in the 3rd cycle of secondary education at the Salvador Correia High School and therefore a new journey to the mainland Portugal, for university entrance, began to be planned. I am convinced that if José had been an Engineering or Medicine enthusiast, the “divorce” with Luanda would have happened anyway. He left Luanda in 1965, where he would only return 11 years later, in an independent Angola. Also, for a very brief period. In 1965, his horizon shifted to the Northern Hemisphere, where the movement was much stronger than in the apparently peaceful Luanda. And there Oporto came on the scene once again. In an intense but transitory relationship. A little earlier, in 1963 to be precise, a rock group appeared in Liverpool which caused a real “windstorm” amongst the youth of the western world.



Beatles



serviço militar, que interrompeu para o exílio. E Paris, afinal ali tão perto, surgiu em 1970 como alternativa ao ambiente asfíxiante em que Portugal se tornara.

A idade adulta (1969-)

Em setembro de 1969 atravessou clandestinamente toda a Península Ibérica para chegar à pátria dos exilados de todo o mundo. Começando por Bordéus, acabou por chegar aquela que era a segunda cidade com mais portugueses do mundo. As notícias chegavam a Angola, filtradas pelo José para não preocupar os pais. Lembrome especialmente de uma carta em que ele descrevia extasiado a beleza da Torre Eiffel vista dos Jardins do Trocadero entre os flocos de neve que caem sobre Paris. Situação muito pouco provável no Porto e impossível em Luanda, onde eu muito provavelmente estaria nesse momento a curtir uma praia no pino do calor.

Anos mais tarde, já num Portugal democrático, foram várias as histórias contadas vistas do outro lado do espelho. Ficou retida na minha memória uma história vivida pelo José nos seus primeiros meses em França. Trabalhava na construção civil, algo completamente insólito para quem as mãos estavam particularmente vocacionadas para a escrita, quando presenciou uma cena em que o mestre-de-obras desancou com palavras o mais novo dos elementos da equipa de trabalho de remodelação de uma vivenda, que não se tinha apresentado ao serviço na véspera. Na sequência, este desatou num choro descontrolado e disse perante todos os colegas que tivera que ficar a tomar conta da mãe, porque esta era alcoólica. O episódio terminou com o mestre-de-obras a perder de imediato a agressividade e, para espanto de todos, a referir que quando estava na guerra da Argélia a mulher lhe tinha sido infiel. No contexto vivido, a necessidade do patrão se expor à laia de desculpa, relatada pelo José, era um fabuloso exemplo das múltiplas facetas que pode assumir a natureza humana. Nobreza do mestre-de-obras? Talvez sim, talvez não. Teríamos muito provavelmente de questionar a mulher do dito patrão. Algo que o José não apurou ou não me quis contar.

As cartas e um encontro em Paris no início dos anos 70 foram os nossos contactos até 1974. A 29 de abril de 1974, juntamente com demais portugueses em situação semelhante, exige na Embaixada de Portugal em Paris vistos normais de permanência em Portugal,

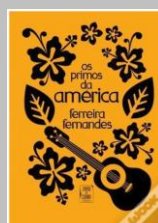
University life in mainland Portugal, with an associative movement already in full swing, and José's political involvement in the late sixties led to a new disruptive moment in his history. After two years at the University of Porto, between Economics and Philosophy courses, he was called up for military service, which he interrupted for exile. And Paris, which turned out to be so close, emerged in 1970 as an alternative to the asphyxiating environment that Portugal had become.

Adulthood (1969-)

In September 1969 he clandestinely crossed the Iberian Peninsula to reach the homeland of exiles from all over the world. Starting in Bordeaux, he ended up in what was the second most Portuguese city in the world. The news reached Angola, filtered by José so as not to worry his parents. I especially remember a letter in which he was ecstatic to describe the beauty of the Eiffel Tower seen from the Trocadero Gardens amidst the snowflakes falling over Paris. A very unlikely situation in Porto and impossible in Luanda, where I would probably be at that moment enjoying a beach in the heat of the day.

Years later, already in a democratic Portugal, several stories were told by José seen by a different perspective. I still keep in mind, a story lived during his first months in France. He was working in construction, something completely unusual for a man whose hands were particularly suited to writing, when he witnessed a scene in which the master builder verbally attacked the youngest member of the team working on the renovation of a villa, because he had not reported for work the day before. Afterwards, the latter burst into uncontrollable tears and said in front of all his colleagues that he had to look after his mother because she was an alcoholic. The episode ended with the master builder immediately losing his aggressiveness and, to everyone's astonishment, stating that when he was in the Algerian war his wife had been unfaithful to him. In the context experienced, the need for the boss to expose himself by way of apology, as told by José, was a fabulous example of the multiple facets that human nature can assume. Nobility of the master builder? Perhaps yes, perhaps no. We would very probably have to question the boss's wife. Something José didn't find out or didn't want to tell me.

Letters and a meeting in Paris in the early 1970s were our contacts until 1974. On April 29, 1974, together with



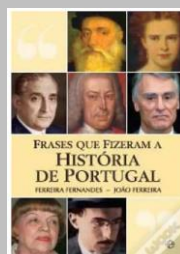
que apenas estavam nesse momento a ser passados para os exilados políticos de renome. Parece uma lei física: deverá haver um argumento incontornável para explicar que já nessa altura alguns animais seriam mais iguais do que os outros.

Mas os fenómenos físicos têm sempre a possibilidade de nos surpreender. E a 30 de abril o José entrou, de papel passado, em Portugal. A sua despedida de Paris ficou marcada pelo episódio da “tomada” da Embaixada e por um outro. Foi nesse dia e nesse local que se cruzou com Álvaro Cunhal, que estava a tratar do mesmo assunto, mas no outro lado da “fronteira” da embaixada. Facto estranho, uma vez que era “facto” assente que Álvaro Cunhal vivia exilado na União Soviética. As biografias recentes de Jorge Sampaio e do próprio Álvaro Cunhal referem que o lendário secretário-geral do Partido Comunista vivia nessa altura clandestinamente em Paris. O olhar atento de José ao meio circundante, pelos vistos, apurava com a tensão vivida no momento.

José passou o período que vai de abril de 1974 a finais de 1976 num frenesi entre o Porto e Lisboa. A dinâmica em Portugal era muito distinta da que fora verificada nas décadas anteriores. Diz-se que as paixões fulgurantes são breves. “Sei que está em festa pá, fico contente...” ou “Foi bonita a festa, pá, fiquei contente...”? José não esperou pela resposta e lá surgiu Luanda de novo. Em dezembro de 1976 aterrou em Luanda de novo. Num avião da TAP ou da sua nova concorrente, a TAAG. Mas seguramente num avião Boeing, que fazia o voo Lisboa-Luanda em cerca de 7 horas. O retorno às origens durou muito pouco, cerca de 8 meses. Mas deu para ver a Luanda rubra das acácias na altura do Natal. E para assistir e registar na memória muito do que nos conta hoje nas entrelinhas das suas crónicas. Nessa altura coabitámos a mesma casa, preocupações, dramas e alegrias. Os tempos difíceis fizeram convergir e partilhar o quotidiano de forma diferente. Vimos juntos como perante uma enorme plateia de uma praça em Luanda, Fidel de Castro mostrou a sua perícia como orador. Começou devagarinho numa audiência distante e foi avançando aos poucos até pôr o público ao rubro. A estratégia hoje teria de ser outra, porque mais do que 45 minutos é difícil de aguentar. Lembro-me como cantámos juntos “It’s Now or Never” quando ouvimos anunciar a morte de Elvis Presley. Ou quando todas as

other Portuguese in a similar situation, demanded normal visas to stay in Portugal at the Portuguese Embassy in Paris, which were only being issued at that time to well-known political exiles. It seems like a physical law: there must be an unavoidable argument to explain that already at that time some animals were more equal than others. But physical phenomena always have the possibility to surprise us. And on April 30 José entered Portugal with his identity card, His farewell to Paris was marked by another episode remembered by José. It was on that day and in that place that he met Álvaro Cunhal, who was dealing with the same matter but on the other side of the 'border' of the Embassy. Strange fact, since it was an established “fact” that Álvaro Cunhal was living in exile in the Soviet Union. Recent biographies of Jorge Sampaio and Álvaro Cunhal himself mention that the legendary secretary-general of the Communist Party was living clandestinely in Paris at the time. Apparently, Joseph's attentive gaze on his surroundings became sharpened by the tension of the moment.

José spent the period between April 1974 and the end of 1976 in a frenzy between Oporto and Lisbon. The dynamics in Portugal were very different to those of previous decades. It's said that glowing passions are brief. "I know it's a party, man, I'm happy..." or "The party was nice, man, I was happy..."? José did not wait for an answer and Luanda appeared again. In December 1976 he landed in Luanda. In a plane belonging to TAP or to his new competitor, TAAG. But certainly in a Boeing plane, which reduced the Lisbon-Luanda flight to around seven hours. The return to his origins lasted very little, about 8 months. But it was enough to see Luanda redolent of acacias at Christmas time. And to watch and register in his memory much of what we may find between the lines of his chronicles. At that time, José and I cohabited the same house, concerns, dramas and joys. The difficult times made us converge and share our daily life in a different way. We saw together how, before a huge audience in a square in Luanda, Fidel Castro showed his skill as an orator. He started off slowly with a distant audience, which he gradually won over. The strategy today would have to be different because more than 45 minutes is hard to bear. I remember how we sang together "It's Now or Never" when we heard the announcement of Elvis Presley's



noites nos sentávamos religiosamente à frente da televisão e ouvíamos a voz de Gal Costa a anunciar a novela que falava dos amores de Gabriela e do senhor Nacib: “Quando eu vim para esse mundo/eu não atinava em nada...”.

Finalmente, Lisboa entra no lote das suas paixões. O seu amor final? Estacionar o José é missão difícil, para não dizer missão impossível. Eu diria antes que Lisboa lhe tocou de forma indelével. Foi aqui que começou a fazer o que sempre gostou de fazer: escrever. E Lisboa inspira. Pelas suas ligações que sempre estabeleceu com o mundo, Lisboa tornou-lhe mais fácil estruturar os seus anseios.

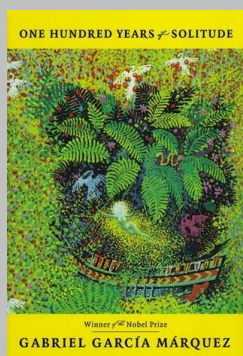
Posfácio

Escrever sobre o José não foi tarefa fácil. Não uso esse nome quando falo com ele. Foi complicado no início deste depoimento, mas resultou como estratégia. E não se tratou de uma mentira. É o seu primeiro nome e uma feliz coincidência. Que melhor nome poderia eu escolher para o José senão o nome de todos os personagens da história de Macondo, uma cidade da América Latina, descrita tão a seu jeito num dos [livros que considera incontornável?](#)

Julgo que cuidar da minha formação a vários níveis também esteve sempre nas suas preocupações. Bem cedo me falou da música popular brasileira, de pintores famosos e de literatura.

Comprou-me um conjunto de obras de Shakespeare, que li num ápice. “Para que um dia me agradeças” foi o modo conciso que usou nas dedicatórias de todos eles. Há primeira vista poderia parecer uma cobrança à distância. Obrigado José!

Em finais dos anos 90, no Louvre, uma colega minha do IST cruzou-se com o meu irmão junto ao quadro “Le Sacre de Napoleon I”. Segundo o seu relato, após alguns momentos o José [chamou-lhe a atenção para o rapaz](#) que se encontra no canto inferior direito. Segundo ele, era o único que parecia estar atento a algo distinto. Mais uma vez, o seu desporto favorito. Pôr-se questões para tentar entender algo ... ou não.



death. Or when every night we sat religiously in front of the television and listened to the voice of Gal Costa announcing the soap opera that spoke of Gabriela and Mr. Nacib's love affairs: "When I came into this world ...".

Finally, Lisbon is one of his passions. His final love? Setting José down is a difficult, not to say impossible mission. I would rather say that Lisbon has touched him indelibly. It was here that he began to do what he always liked to do: write. And Lisbon inspires. Because of the connections this city has always made with the world, Lisbon made it easier for José to structure his longings.

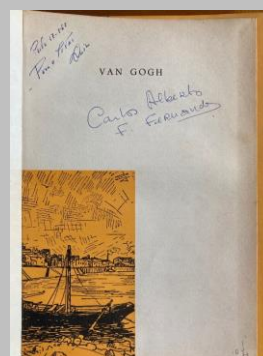
Afterword

Writing about José was not an easy task. I don't use that name when I talk to him. It was complicated at the beginning of this statement but it worked as a strategy. And it was not a lie. It is his first name and a happy coincidence. What better name could I choose for José if not the name of all the characters in the story of Macondo, a Latin American city described so well in one of the [books he considers unavoidable?](#)

I think that looking after my education at various levels was always one of his concerns. Very early, he introduced me to Brazilian popular music, to famous painters and to literature.

He bought me a set of Shakespeare's works, which I read in a flash. "In order that one day you may thank me" was the concise way he used in the dedications to all of them. At first sight it might seem like a long-distance charge. Thank you José!

In the late 90s, at the Louvre Museum, a colleague of mine from IST found my brother next to the painting "Le Sacre de Napoleon I". According to her, after a few moments José [drew her attention to the boy](#) in the lower right corner. He was the only one who seemed to be paying attention to something distinct. Again, his favourite sport. Asking yourself questions to try to understand something ... or not.



**A testimony from 55 years ago /
Um testemunho de há 55 anos.**

Há uns anos atrás, enquanto eu esperava o início de uma reunião do Departamento de Engenharia Eletrotécnica, um dos meus colegas referiu-se ao prazer que lhe davam as leituras que o José escrevia no Diário de Notícias. Não foi necessário perguntar-lhe se era também um leitor dos meus artigos (há verdades que é melhor não saber).

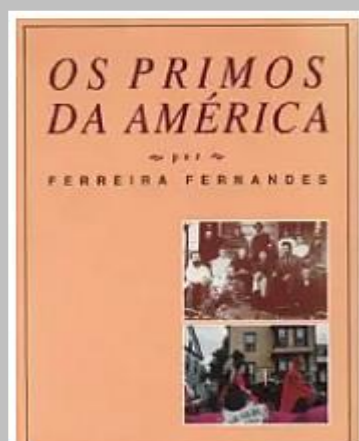
A história repetiu-se com muitos dos meus amigos e conhecidos. Parecia uma pandemia. Muito cientificamente, resolvi concluir que não se comparam grandezas de espécies diferentes.

As abordagens têm de levar em linha de conta o público a quem se dirigem. Mas serão mesmo de espécies diferentes? Escrever artigos de Engenharia sem usar fórmulas pode ser estranho; escrever artigos sobre arte ou literatura recorrendo à formulação matemática também não é usual. Mas em alguns casos pode ser altamente eficaz tentar a ponte. De certa maneira, as crónicas do José reforçaram-me essa ideia de partilha. Obrigado José!

Voltando ao quadro do Louvre. Um acontecimento tão importante para o Mundo, mas não para o rapaz. O seu pensamento contracorrente. O não alinhamento. Uma conversa tida em Paris há duas décadas e tão atual. O que seria deste mundo se não tivesse existido tanta contracorrente nas diversas áreas do saber? Aprendi isso ao longo da minha vida. Obrigado pelo empurrãozinho José!

Este é um texto que não é referenciado no link que encontra na contracapa da FN. É uma boa notícia para os aficionados do José. Não leva a sua assinatura, mas é sobre ele.

Atualmente é um dos jornalistas fundadores do jornal digital Mensagem de Lisboa, um jornal “para todos os lisboetas, nascidos, criados, saídos e regressados”. Uma Lisboa sem fronteiras, onde se podem partilhar experiências vindas de todo o lado. Livre-trânsito e ausência de autorizações. Que melhor local poderia o José escolher?



A few years ago, while I was waiting for the start of a meeting of the Electrotechnical Engineering Department, one of my colleagues mentioned how much he enjoyed reading José's articles in the "Diário de Notícias". There was no need to ask him if he was also a reader of my articles (some truths are better left unknown).

History repeated itself with many of my friends and acquaintances. It was like a pandemic. Very scientifically, I decided to conclude that one cannot compare magnitudes of different species.

Approaches have to take into account the audience they are aimed at. But are they really different species? Writing engineering articles without using formulas may be strange; writing articles on art or on literature using mathematical formulation is also unusual. But in some cases, it can be highly effective to try the bridge. In a way, José's chronicles reinforced me this idea of sharing. Thanks José!

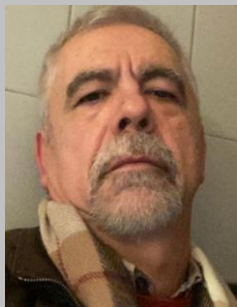
Back to the Louvre painting. Such an important event for the World, but not for the boy. His counter-current thinking. The non-alignment. A conversation had in Paris two decades ago and yet so current. What would this world be if there hadn't been so many counter currents in the different areas of knowledge? I have learned that throughout my life. Thanks for the little push José!

This is a text that is not referenced in the link you find on the back cover of the FN. It is good news for José's fans. It does not carry his signature but it is about him.

He is currently one of the founding journalists of the digital newspaper "Mensagem de Lisboa", a newspaper "for all Lisboners, born, raised, left and returned". A Lisbon without borders, where experiences from all over can be shared. Laissez-passer and no permits. What better place could José choose?

Carlos Fernandes
Prof. do IST (aposentado)
Investigador do [IT](#)

As Duas Culturas/ The Two Cultures



“Os não cientistas têm uma impressão arraigada de que os cientistas são superficialmente otimistas, inconscientes da condição do homem. Por outro lado, os cientistas acreditam que os intelectuais literários são totalmente desprovidos de prospectividade, peculiarmente despreocupados com seus irmãos, em um sentido profundo anti-intelectuais, ansiosos por restringir a arte e o pensamento ao momento existencial.”

Foi nestes termos que, em 7 de maio de 1959, numa conferência proferida em Cambridge, como parte das Rede Lectures, o físico-químico e romancista britânico [Charles Percy Snow](#) (1905-1980), mais conhecido para a história como C. P. Snow, se referiu à imagem distorcida que, na altura, cientistas e intelectuais literários tinham uns dos outros. Ele próprio um cientista, mas também, por via da sua carreira como romancista, um membro do grupo dos intelectuais literários, *“que começaram a referir-se a si próprios como intelectuais, como se outros não houvesse”*, C. P. Snow foi responsável, com esta sua conferência, proferida enquanto cientista, por uma reflexão que viria a gerar grande debate, e não apenas em Inglaterra. As duas culturas, como chamou a esta polarização do conhecimento em Ciências e Humanidades, ficaram nas bocas do mundo, ou melhor, na tinta dos críticos, e deram azo a muita discussão.

No seu tempo, a crítica de C. P. Snow foi motivada pelo desdém e a incredulidade generalizada dos intelectuais pela iliteracia dos cientistas: *“Dão uma risada de pena com as notícias de cientistas que nunca leram uma grande obra da literatura inglesa. Descartam-nos como especialistas ignorantes.”* Mas a crítica era sobretudo dirigida aos intelectuais e à sua baixa literacia científica: *“têm expressado com grande entusiasmo a sua incredulidade face à iliteracia dos cientistas. Uma ou duas vezes fui provocado e perguntei-lhes quantos deles poderiam descrever a Segunda Lei da Termodinâ-*

The non-scientists have a rooted impression that the scientists are shallowly optimistic, unaware of man's condition. On the other hand, the scientists believe that the literary intellectuals are totally lacking in fore-sight, peculiarly unconcerned with their brother men, in a deep sense anti-intellectual, anxious to restrict both art and thought to the existential moment.”

It was with these words that, on May 7, 1959, in a lecture given in Cambridge, as part of the Rede Lectures, the British physical chemist and novelist [Charles Percy Snow](#) (1905-1980), better known to history as C. P. Snow, referred to the distorted image scientists and literary intellectuals had of each other at the time. A scientist himself, but also, through his career as a novelist, a member of the ranks of literary intellectuals, " who (...) took to referring to themselves as 'intellectuals' as though there were no others", C. P. Snow was responsible, with this conference, which he gave as a scientist, for some thoughts that would generate great debate, and not just in England. The two cultures, as he called this polarization of knowledge into Sciences and Humanities, were on the lips of the world, or rather, in the ink of critics, and gave rise to much discussion.

At the time, C. P. Snow's criticism was motivated by the general disdain and disbelief of intellectuals for the illiteracy of scientists: “They give a pitying chuckle at the news of scientists who have never read a major work of English literature. They dismiss them as ignorant specialists.” But the criticism was mainly directed at intellectuals and their low scientific literacy: “who have with considerable gusto been expressing their incredulity at the illiteracy of scientists. Once or twice I have been provoked and have asked the company how many of them could describe the Second Law of Thermodynamics. The response was cold: it was also negative. Yet I was asking something which is about the scientific equiva-



mica. A resposta foi fria: também foi negativa. No entanto, eu estava a perguntar algo que é o equivalente científico de: você leu uma obra de Shakespeare?”

A instauração de uma cultura comum mínima entre os dois polos de conhecimento, entre as duas culturas, fazia-se sobretudo, no pensamento de Snow, por via de um maior respeito pelo conhecimento científico e pela normalização escolar e académica de um património científico comum que, sendo uma ponte de comunicação, funcionaria como uma espécie de cânone científico.

Muitos dos debates que surgiram desta e de outras discussões similares envolviam apelos para a reestruturação de sistemas de ensino e de estruturas curriculares, redesenhando mapas institucionais e intelectuais da educação. A redução da realidade do conhecimento a dois polos, que não contempla as ciências sociais, correlacionando-as com as humanidades, foi também alvo de críticas. Mas muito em consequência destes debates e críticas, e em simultâneo, deu-se uma perda recorrente de confiança nas humanidades e uma desvalorização do seu estatuto, do seu papel social e do seu propósito, sobretudo a partir da década de 60 do século passado. A crise das humanidades estava assim instaurada.

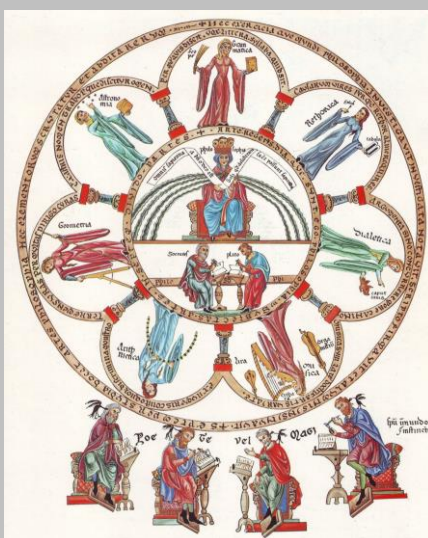
A situação atual é distinta da de há 60 anos atrás, mas a divisão entre as duas culturas permanece. A matriz cultural de desenvolvimento científico, que colocava a palavra antes do mundo, o interior antes do exterior, o *Trivium* – a gramática, a lógica e a retórica – antes do *Quadrivium* – a aritmética (número), a geometria (espaço), a astronomia (movimento) e a música (tempo) –, enquadra e explica a disciplinarização como a entendemos atualmente: a diversidade do mundo, e a ainda Cartesiana centralidade e singularidade do ser

lent of: Have you read a work of Shakespeare’s?”

The establishment of a minimum common culture between the two poles of knowledge, between the two cultures, would have to be done above all, in Snow’s thinking, through greater respect for scientific knowledge and for school and academic standardization of a common scientific heritage that, being a communication bridge, would function as a kind of scientific canon.

Many of the debates that emerged from this and other similar discussions involved calls for the restructuring of teaching systems and curricular structures, redrawing institutional and intellectual maps of education. The reduction of the reality of knowledge to two poles, which does not contemplate the social sciences, correlating them with the humanities, was also a target for criticism. But much as a result of these debates and criticisms, and at the same time, there was a recurrent loss of confidence in the humanities and a devaluation of their status, their social role and their purpose, especially from the 1960s onwards. The crisis of the humanities was thus established.

The current situation is different from 60 years ago, but the division between the two cultures remains. The cultural matrix of scientific development, which placed the word before the world, the inside before the outside, the Trivium – grammar, logic and rhetoric – before the Quadrivium – arithmetic (number), geometry (space), astronomy (movement) and music (time) – frames and explains disciplinarization as we currently understand it: the diversity of the world, and the still Cartesian centrality and uniqueness of the human being in this diversity. Interestingly, against this trend, it was the rise of the natural sciences, in turn, and in particular molecular biology, of which Snow spoke so much, which redesigned part of the most significant change in the face of science since then, with redefinitions of whole areas of research. And it was also through this path that took place a greater questioning of knowledge, of its



[O trívio e o quadrívio](#)

humano nessa diversidade. Curiosamente, contra esta tendência, foi a ascensão das ciências naturais, por sua vez, e em particular da biologia molecular, de que tanto falou Snow, que redesenhou parte da mudança mais significativa na face da ciência desde então, com redefinições de áreas de investigação inteiras. E foi também por esta via que se operou uma maior problematização do conhecimento, do seu valor e da centralidade e singularidade do ser humano no mundo. Da palavra antes do mundo ao mundo antes da palavra, mas também à importância da palavra na representação e construção da experiência no mundo.

A palavra influencia a nossa leitura do mundo. As humanidades não são especificamente o que Snow disse delas e estão de volta; e com elas, a afirmação de um pós-humanismo cultural e científico que coloca em causa a sustentabilidade do planeta, as leituras da centralidade do ser humano e as narrativas que construíram o mundo como o conhecemos e determinam o modo como, nele, temos vivido e construído a nossa experiência.

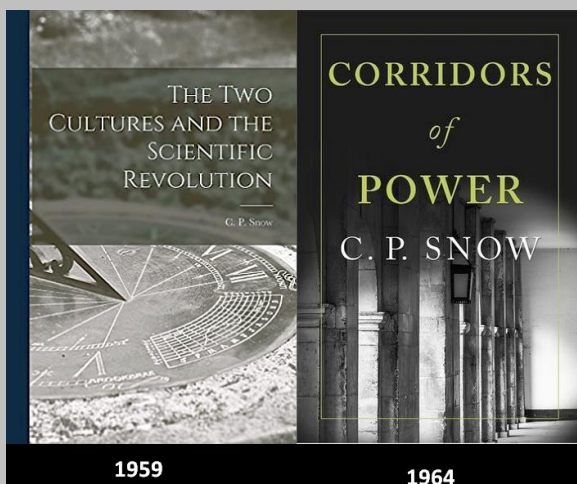


Frontespício de Gregor Reisch (1503) [Margarita Philosophica](#). Freiburg: Johann Schott. (o trívio e o quadrívio).

value and of the centrality and uniqueness of the human being in the world. From the word before the world to the world before the word, but also to the importance of the word in the representation and construction of one's experience in the world.

The word influences our reading of the world. The humanities aren't specifically what Snow said they are, and they're back; and with them, the affirmation of a cultural and scientific post-humanism that calls into question the sustainability of the planet, the readings of the centrality of the human being and the narratives that built the world as we know it and determine the way in which we have lived in and built our experience in it.

Carlos Gouveia
Prof. [FLUL](#)





O Transístor de 0 a 100 / *The Transistor from 0 to 100*

O transístor foi inventado em dezembro de 1947 nos *Laboratórios Bell (Bell Labs)* em Murray Hill, EUA, por dois cientistas: John Bardeen (1908-1991) e Walter Brattain (1902-1987), durante o chamado “[Miracle Month](#)”, de 17 de novembro a 23 de dezembro. A este grupo juntou-se o seu chefe de equipa, William Shockley (1910-1989). O primeiro artigo de divulgação do transístor só foi publicado na revista científica *Physical Review*, em [julho de 1948](#), a que se seguiu a publicação na revista de grande divulgação prática *Electronics*, em [setembro de 1948](#).

Em 1956, o prémio Nobel foi atribuído a estes três cientistas. O transístor não foi inicialmente considerado um dispositivo que despertasse muito interesse. Previse-se que o seu futuro estaria destinado somente a aplicações altamente sofisticadas e restritas à indústria militar. Todavia, as aplicações práticas que logo surgiram viriam a revolucionar a sociedade em que vivemos. O transístor acabou por ser considerado a maior descoberta do século 20. Abrindo-se caminho à especulação e ao que está por vir, há, contudo, uma pergunta que se impõe fazer: “Como serão os transístores em 2047, cem anos depois da sua invenção, e que impacto terão na sociedade?”

O Transístor no ano -10

Em 1936, os *Bell Labs* criaram o projeto secreto “*The Surface State Job*” para investigar as propriedades de semicondutores. William Shockley foi contratado para este projeto e, em 1939, escrevia: “*It has today occurred to me that an amplifier using semiconductors rather than vacuum is in principle possible*”. Shockley investiu na ideia do dispositivo controlado por campo elétrico, tal como [Julius Lilienfeld](#) (1882-1963) tinha patenteado em 1926. Contratou Bardeen e Brattain para trabalharem nesta ideia, mas, em 1946, Bardeen

*The transistor was invented in December 1947 at Bell Labs in Murray Hill, USA, by two scientists: John Bardeen (1908-1991) and Walter Brattain (1902-1987), during the so-called “[Miracle Month](#)”, from November 17 to December 23. This group was joined by their team leader, William Shockley (1910-1989). The first paper on the transistor was published only in [July 1948](#), in the scientific journal *Physical Review*; it was followed by a publication in the science popularization journal *Electronics*, in [September 1948](#).*

In 1956, the Nobel Prize was awarded to these three scientists. The transistor was not initially a device that brought much interest with it. It was thought that its future was destined only for highly sophisticated applications restricted to the military industry. However, the practical applications that soon emerged were to revolutionise the society in which we live. The transistor ended up being considered the greatest discovery of the 20th century. Opening up the way to speculation and what is to come, there is, however, one question that needs to be asked: “What will transistors be like in 2047, one hundred years after their invention, and what impact will they have on society?”

The Transistor in the year -10

In 1936, the Bell Labs set up the secret project “The Surface State Job”, to investigate the properties of semiconductors. William Shockley was hired for this project, and in 1939 he wrote: “It has today occurred to me that an amplifier using semiconductors rather than vacuum is in principle possible”. Shockley invested in the idea of the electric field controlled device, just as [Julius Lilienfeld](#) (1882-1963) had patented in 1926. He hired Bardeen and Brattain to work on this idea, but in 1946 Bardeen demonstrated theoretically that the external electric field created an electron barrier on the surface of the semiconductor that prevented the field from penetrating inside it. The field effect transistor, FET for Field Effect Transistor, was thus put off. Shockley did not like this failure, as he had already shown theoretically that the transistor would work.

demonstrou teoricamente que o campo elétrico externo criava uma barreira de elétrons na superfície do semiconductor que impedia o campo de penetrar dentro dele. O transistor de efeito de campo, FET de *Field Effect Transistor*, ficou assim adiado. Shockley não gostou deste insucesso, pois já tinha mostrado teoricamente que o transistor funcionaria.

O Transistor no ano zero

O primeiro transistor, no ano zero da sua era, foi obtido pelo contacto de [duas pontas metálicas sobre um bloco de germânio](#) purificado. Este resultado foi uma consequência dos progressos anteriormente obtidos nos *Bell Labs* sobre a [descoberta da junção semicondutora](#) e a capacidade de produzir silício e germânio cristalino muito purificados. A junção semicondutora, por sua vez, tinha sido motivada pela resolução da limitação do funcionamento das válvulas eletrônicas na detecção de sinais de radar na 2ª guerra mundial. Daqui resultou, em 1946, o [díodo 1N34](#), de contacto metálico pontual com um cristal de germânio purificado e que veio a ter enorme sucesso comercial. O nome de transistor foi sugerido por John Pierce, colega de Brattain, pois achava que o funcionamento do novo dispositivo estava associado a um fenómeno de *trans-resistance*. Este nome acabaria por ser escolhido pela equipa de investigação de semicondutores dos *Bell Labs*.

O fabrico dos primeiros transistores era feito manualmente, muito moroso, os contactos tinham de ser ajustados através de um orifício, e conduzia a transistores pouco fiáveis. Os *Bell Labs*, em 1948, produziram cerca de 2000 transistores que, na sua maioria, eram dedicados a institutos e a empresas compradoras dos direitos da patente entretanto realizada. [Pode ver aqui como este transistor funciona.](#)

Em 1952, os *Bell Labs* já produziam cerca de 6000 transistores por mês destinados a computadores e a aparelhos de ajuda auditiva. O primeiro aparelho a usar um transistor foi o aparelho de ajuda auditiva [Sonotone 1010](#), em 1952. O aparelho tinha duas válvulas miniaturas e um andar de saída de áudio transistorizado (transistor 1030).



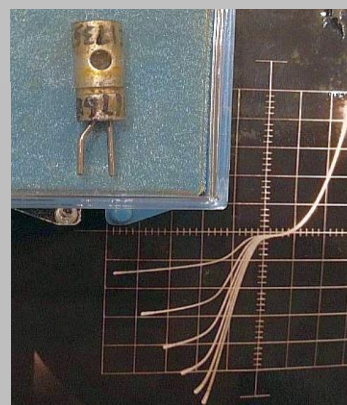
The Transistor at year zero

The first transistor, in the year zero of its era, was obtained by the contact of [two metallic tips on a block of purified germanium](#). This result was a consequence of the progress previously achieved at Bell Labs on the [discovery of the semiconductor junction](#) and the ability to produce highly purified crystalline silicon and germanium. The semiconductor junction, in turn, had been motivated by resolving the limitation of the operation of electronic valves in the detection of radar signals in World War II. The result was, in 1946, [the 1N34 diode](#), of point metal contact with a purified germanium crystal and which became a huge commercial success. The name transistor was suggested by John Pierce, a colleague of Brattain, as he thought that the functioning of the new device was associated to a trans-resistance phenomenon. This name was eventually chosen by the Bell Labs semiconductor research team.

The manufacture of the first transistors was very time-consuming and manual, the contacts had to be adjusted through a hole, and led to unreliable transistors. Bell Labs, in 1948, produced about 2000 transistors, which were mostly dedicated to institutes and companies that bought the rights to the patent in the meantime. [You can see here how this transistor works.](#)

By 1952, Bell Labs was already producing about 6000 transistors a month for computers and hearing aids. The first device to use a transistor was [the Sonotone 1010 hearing aid](#). The device had two miniature valves and a transistor 1030 in the audio output stage.

But the manual manufacturing process had the advantage that it could be replicated by skilled experimentalists, without recourse to [advanced technologies](#). Soon, in October 1948, an [alternative realisation](#) to the first Bell Labs transistor appeared from germanium point-contact diodes.



Contact Point Transistor R1768 (Bell Labs). See hole for contacts adjustment.

Mas o processo de fabrico manual tinha a vantagem de poder ser replicado por experimentalistas habilidosos, sem recurso a [tecnologias avançadas](#). Logo, em outubro de 1948, apareceu uma [realização alternativa](#) ao primeiro transístor dos *Bell Labs* a partir de díodos de contacto pontual de germânio.

Os primeiros circuitos a transístores de contacto metálico eram baseados nos circuitos já conhecidos, realizados com válvulas, nomeadamente com tríodos, e que foram modificados, porque agora existia corrente no elétrodo de comando do transístor (a Base), contrariamente ao que existia na grelha dos tríodos.

O Transístor de Junção Bipolar

William Shockley não ficou muito convencido com a descoberta do transístor de contacto metálico, feita à sua revelia, e a sua investigação, que se concentrava-se na realização do transístor de efeito de campo, mas acabou por se concentrar na descoberta do transístor de junção bipolar que evitasse os contactos metálicos.

Shockley era um cientista excecionalmente brilhante , e acabou por inventar, em 1951, o transístor de junção bipolar (TJB): um transístor de junções crescidas num lingote de germânio.

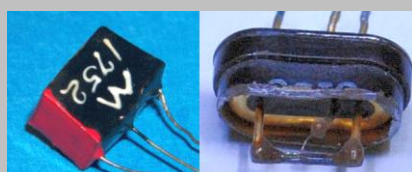
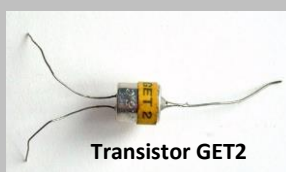
A primeira unidade produzida pelos *Bell Labs* foi o transístor M1752 encapsulado em plástico. Mais tarde, usou-se um encapsulamento metálico. Na figura pode observar-se o lingote de germânio com o fio da Base do transístor ligado entre a parte P e a parte N do lingote.

As primeiras aplicações

Várias empresas produziram transístores de contacto metálico sob licença dos Bell Labs.

Em 1952, a empresa Philips produziu os transístores [OC50 e OC51](#) que pode ver no seu [museu](#). Em 1953 e 1954, a empresa inglesa GEC produziu os seus primeiros transístores de contacto pontual metálico, nomeadamente o GET1 e o GET2.

As primeiras aplicações foram em amplificadores de áudio, mas, em janeiro de 1954, a revista *Wireless World* publicou um artigo que descrevia o circuito de um recetor de rádio regenerativo, para que os experimentalistas pudessem avaliar as capacidades



The first circuits with metallic contact transistors were based on the already known circuits with valves, namely with triodes, which were modified, because now there was current in the control electrode of the transistor (the Base), contrary to what existed in the grid of the triodes.

The Bipolar Junction Transistor

William Shockley was not very convinced by the discovery of the metallic contact transistor, which was made without his knowledge and outside his research, which was focused on the realisation of the field effect transistor, but he ended up focusing on the discovery of the bipolar junction transistor that avoided metallic contacts.

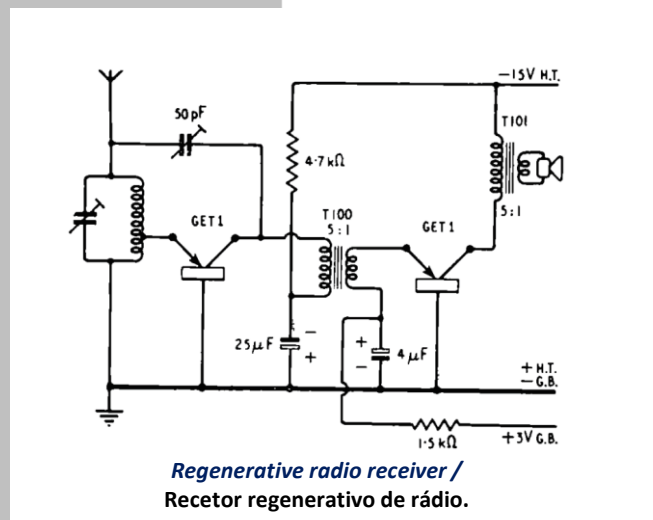
Shockley was an exceptionally brilliant scientist, and eventually, in 1951, he invented the bipolar junction transistor (BJT): a transistor of junctions grown on a germanium ingot.

The first unit produced by Bell Labs was the plastic encapsulated M1752 transistor. Later, a metal encapsulation was used. In the picture you can see the germanium ingot with the base wire connected between the P and the N part of the ingot.

The first applications

Several companies produced metal contact transistors under licence from Bell Labs.

In 1952, the Philips Company produced the [OC50 and OC51](#) transistors which you can see in its [museum](#). In 1953 and 1954, the British company GEC produced its first metal point contact transistors, namely the GET1 and GET2.



destes transístores em radiofrequência (RF).

A principal diferença em relação aos circuitos realizados com válvulas era a existência de transformadores adaptadores de impedância entre o circuito de saída do coletor do primeiro transístor (alta impedância) e a base do 2º transístor (baixa impedância). O circuito usava os transístores numa montagem de base comum para reduzir a realimentação interna entre os circuitos de saída e o de entrada de cada transístor.

Entretanto, o transístor de junção semicondutora já estava a ser produzido por empresas dos EUA, nomeadamente pela Raytheon, que apresentou o transístor CKY 718 em 1952, o primeiro a ser produzido em larga escala, destinado a substituir válvulas nos aparelhos de bolso de ajuda à audição. No Museu Faraday pode aceder aos documentos "[História dos semicondutores](#)" e "[70 anos do transístor](#)" e ver dois aparelhos auditivos Sonotone de 1951 a válvulas e o mesmo aparelho, de 1953, já usando o transístor CK718. Em 1953, a empresa Philco criou e fabricou os primeiros [transístores de barreira superficial](#).

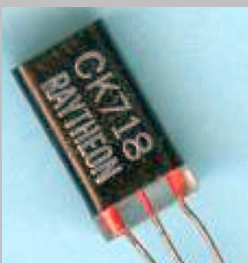
A dimensão física dos transístores e a evolução para circuitos integrados

O primeiro transístor tinha cerca de 3 cm de altura, mas os primeiros transístores de contacto produzidos e comercializados eram bem mais pequenos.

Os primeiros TJB eram estruturas tridimensionais. Seguiram-se as tecnologias de implantação planar desenvolvidas nos *Bell Labs*, em 1958, por Jean Hoerni (1924-1997); os transístores passaram a ocupar uma dada área de silício e a poderem ser colocados lado a lado com outros transístores.

Shockley foi o "fundador", em 1956, do *Shockley Semiconductor Laboratory*, que viria a ser a semente do chamado "*Silicon Valley*, na Califórnia (EUA). No *Silicon Valley* instalaram-se várias empresas que foram fundamentais no desenvolvimento da eletrónica moderna.

O físico Robert Noyce (1927-1990), que foi contratado pelo *Shockley Semiconductor Laboratory*, usou a tecnologia de implantação planar e ligou os transístores entre si através de uma camada extra de metal.



The first applications were in audio amplifiers, but, in January 1954, the magazine Wireless World published an article describing the circuit of a regenerative radio receiver, so that experimentalists could evaluate the capabilities of these transistors in radio frequency (RF). The main difference with respect to circuits made with valves was the existence of impedance adapting transformers between the collector output circuit of the first transistor (high impedance) and the base of the 2nd transistor (low impedance). The circuit used the transistors in a common base assembly to reduce internal feedback between the output and input circuits of each transistor.

Meanwhile, the semiconductor junction transistor was already being produced by US companies, namely Raytheon, which presented the CKY 728 transistor in 1952, the first to be produced on a large scale, intended to replace valves in pocket-sized hearing aids. At the Faraday Museum you can access the documents "[History of Semiconductors](#)" and [70 years of the transistor](#)" and see two 1951 Sonotone hearing aids using valves and the same device, from 1953, already using the CK718 transistor. In 1953, the Philco Company designed and manufactured the first [surface barrier transistors](#).

The physical dimension of transistors and the evolution towards integrated circuits

The first transistor was about 3 cm high, but the first contact transistors produced and commercialised were much smaller.



Réplica do 1º transístor realizada em 1997 (50 anos do transístor).

Em 1958, Jack Kilby (1923-2005), da empresa *Texas Instruments*, acrescentou alguns componentes aos transístores planares e, em 1959, realizou o primeiro circuito integrado híbrido¹ moderno que [patenteou](#).

Passou-se, assim, do transístor inicial tridimensional (3D) para a implantação essencialmente bidimensional (2D) que prevaleceria até ao princípio do século 21.

Em 1959, nos *Bell Labs*, Dawon Kahng (1931-1992) e Mohamed Attala (1924-2009) desenvolveram o processo de crescimento térmico de óxido de silício sobre silício e verificam que este óxido resolveu os problemas de penetração de cargas superficiais que tinham impedido Shockley de realizar o seu tão desejado transístor de efeito de campo. Desenvolveram transístores de efeito de campo MOSFET, "*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*", com canais P e canais N (MOSFET P e MOSFET N), com tecnologia de 20 µm, que, em 2022, pode ser cerca de 1000 vezes mais compacta.

O MOSFET tem um processo de fabrico mais simples do que o TJB e permite uma implantação mais compacta em termos de área de silício, qualidades que viriam a elegê-lo como sendo o mais adequado para a implementação dos circuitos integrados monolíticos modernos.

Algumas das empresas mais inovadoras na nova área de microeletrónica foram fundadas pelos "oito traidores de Shockley", como ele lhes chamava depois de o terem abandonado (ver nota de rodapé nº 1). Entre estes oito cientistas estava Gordon Moore (1929-), que em 1965 viria a postular a [célebre Lei de Moore](#): "Em cada dois anos o número de transístores por circuito integrado, com a mesma área e o mesmo custo, duplicaria". A Lei de Moore acabaria por prever um acentuado impacto em três áreas muito importantes: [economia, tecnologia e sociedade](#). Gordon Moore e Robert Noyce (1927-1990), em 1968, fundaram a empresa Intel.

Em 1967, H. Farrah e R.F. Steinberg, da [Bendix Corporation](#), propuseram o conceito de MOSFET de

The first BJTs were three-dimensional structures. This was followed by the planar implantation technologies developed at Bell Labs in 1958 by Jean Hoerni (1924-1997); transistors now occupied a given area of silicon and could be placed side by side with other transistors.

Shockley was the "founder", in 1956, of the Shockley Semiconductor Laboratory, which became the seed of the so-called "Silicon Valley" in California (USA). Silicon Valley was home to several companies that were crucial in the development of modern electronics.

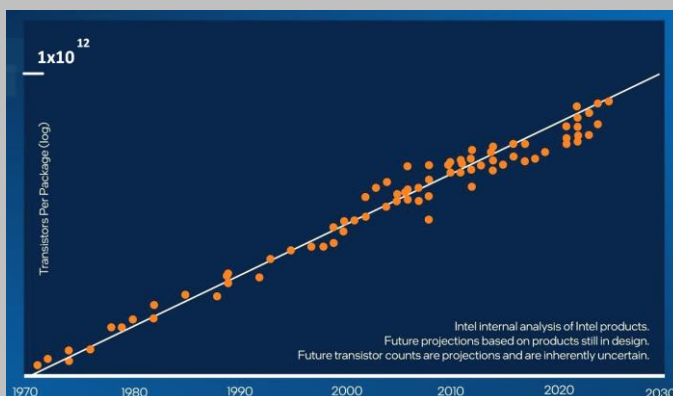
Physicist Robert Noyce (1927-1990), who was employed by Shockley Semiconductor Laboratory, used planar implantation technology and connected the transistors to each other through an extra layer of metal. In 1958, Jack Kilby (1923-2005) of Texas Instruments added some components to planar transistors and, in 1959, he made the first modern hybrid integrated circuit that [he patented](#).

Thus, we went from the initial three-dimensional (3D) transistor to the essentially two-dimensional (2D) implantation that would prevail until the beginning of the 21st century.

In 1959, at Bell Labs, Dawon Kahng (1931-1992) and Mohamed Attala (1924-2009) developed the process of thermal growth of silicon oxide on silicon and found that this oxide solved the surface charge penetration problems that had prevented Shockley from making his much-desired field-effect transistor. They developed MOSFET ("Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor") field-effect transistors with both P and N channels (MOSFET P and MOSFET N), with 20µm technology that, by 2022, could be about 1000 times more compact.

The MOSFET has a simpler manufacturing process than the BJT and allows a more compact implementation in terms of silicon area, qualities that would come to elect it as the most suitable for the implementation of modern monolithic integrated circuits.

Some of the most innovative companies in the new area of microelectronics were founded by "Shockley's eight traitors", as he called them after they left him (see footnote #1). Among these eight scientists was Gordon Moore (1929-), who in 1965 came to postulate the [Moore's famous Law](#): "Every two years the number of



2030 - INTEL Prediction
1x 10¹² transistors per chip
Moore's Law

dupla porta, que teve uma enorme importância, nos anos 70, em circuitos de receptores de RF. Este conceito das múltiplas portas de comando voltaria a ser usado a partir de 2008 nos novos transistores *FinFET*.

Os 25 anos do Transistor

Os anos 70 do século 20 foram de extraordinário desenvolvimento de novos circuitos integrados e novos semicondutores, ver [História dos semicondutores](#). São exemplos, num único circuito: os novos dispositivos, como os “*Charge Coupled Devices*” (CCD), a memória RAM dinâmica, o 1º amplificador operacional, o 1º microprocessador, o circuito de interface Analógico-Digital e vice-versa, o primeiro “*Digital Signal Processor*”(DSP), etc. Talvez mais importante tenha sido a criação dos transistores de porta flutuante, em 1971, que permitiram a realização em silício das primeiras memórias digitais permanentes, usando o conhecimento de condução por efeito túnel em isoladores muito finos, que já tinha sido estudado em 1928, por Ralph Fowler (1899-1944) e Lothar Nordheim (1899-1985). Nesta década, foi também criado o semicondutor Silício-Germânio, SiGe, que viria a proporcionar transistores extremamente rápidos de RF e de comutação.

Os 50 anos do Transistor

No final dos anos 80 e também nos anos 90, surgiram as tendências para uso de outros semicondutores para além do silício, como o nitreto de gálio e o carbeto de silício. O primeiro foi fundamental no desenvolvimento das redes celulares de telefones e o segundo foi muito importante na realização de transistores robustos de alta tensão que seriam fundamentais no desenvolvimento dos futuros veículos e sistemas de mobilidade elétrica. Em 1987, no domínio do armazenamento de dados, surgiu o conceito de memória flash pela mão de Fujio Mazuoka (1943-). Entra-se aqui no espaço dos circuitos integrados tridimensionais, com camadas de semicondutores colocados em vários níveis acima da superfície do silício

transistors per integrated circuit, with the same area and the same cost, would double”. Moore’s Law would eventually predict a marked impact in three very important areas: [economy, technology and society](#). Gordon Moore and Robert Noyce (1927-1990) founded the Intel Company, in 1968.

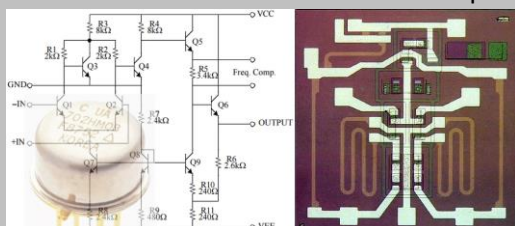
In 1967, H. Farrah and R.F. Steinberg, of [Bendix Corporation](#), proposed the concept of a double-gate MOSFET, which had enormous importance in the 1970s in RF receiver circuits. This concept of multiple gates would be used again from 2008 on in the new FinFET transistors.

The 25 years of Transistor

The 70s of the 20th century were years of extraordinary development of new integrated circuits and new semiconductors, [see History of Semiconductors](#). Examples are: the new devices in a single chip, such as the Charge Coupled Devices (CCD), the dynamic RAM memorie, the 1st operational amplifier, the 1st microprocessor, Analogue-Digital interface circuit and vice-versa, the first Digital Signal Processor (DSP), etc. Perhaps more important was the creation of floating gate transistors, in 1971, which allowed the realisation in silicon of the first permanent digital memories, using the knowledge of conduction by tunnel effect in very thin insulators, which had already been studied in 1928, by Ralph Fowler (1899-1944) and Lothar Nordheim (1899-1985). In this decade, it was also created the semiconductor Silicon-Germanium, SiGe, which would provide extremely fast RF and switching transistors.

The 50 years of Transistor

In the late 1980s and also in the 1990s, trends emerged towards the use of semiconductors other than silicon, such as gallium nitride and silicon carbide. The former was instrumental in the development of cellular phone networks and the latter was very important in the realisation of robust high voltage transistors that would be fundamental in the development of future electric mobility vehicles and systems. In 1987, in the field of



1964 – uA702 - Operational Amplifier

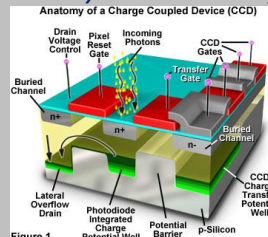


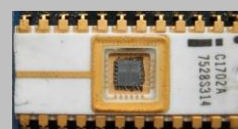
Figure 1
1969 - CCD



1970 – DRAM memory
1 kbit



1971 – Microprocessor
2300 transistors – 10 μm



1971 – EPROM Memory
2048 bit

Em 1989, surge o primeiro transistor do tipo "Depleted Lean-channel Transistor" (DELTA), [criado por investigadores](#) do [Hitachi Central Research Laboratory](#). Este transistor é constituído por um canal de silício com estrutura vertical, em forma de barbatana ou alheta, em que se podem colocar elétrodos de controlo em qualquer dos 3 lados disponíveis. No MOSFET clássico, a corrente de condução depende da relação W/L (largura do canal sobre o seu comprimento). Com a miniaturização dos transístores MOSFET, o comprimento do canal ficou muito reduzido e a relação W/L, necessária para se obter uma dada corrente, salientou os erros dos chamados efeitos de canal curto. O transistor DELTA reduziu consideravelmente estes erros, pois permitiu realizar larguras de canal maiores, envolvendo a barbatana ou alheta, e proporcionar W/L elevados.

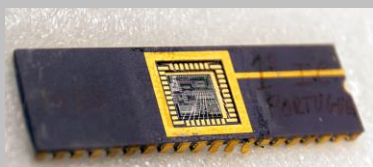
As vantagens do transistor DELTA foram exploradas por vários projetos de investigação. Um dos projetos foi realizado entre 1998 e 2004 e foi liderado por Chenming Hu (1947-) da Universidade de Berkeley, EUA.

Em 2004, a empresa *Samsung Electronics* produziu os primeiros circuitos com transístores "Bulk FinFET". Atualmente, o FinFET é o transistor preferencial para realizar circuitos integrados digitais altamente compactos.

A evolução do conceito de FinFET continuou e novas estruturas como o AGA (All Gate Around) FinFET ou o [AGA FinFET NW \(nanowire\)](#) apareceram. Hoje em dia, cada FinFET pode ter várias barbatanas ou alhetas, abraçadas por um único elétrodo de controlo (gate), o que facilita muito o controlo da corrente no dispositivo e reduz os efeitos negativos do canal ser muito curto.

Até 2009, a densidade de transístores era determinada pela dimensão do comprimento mínimo da porta de um transistor de efeito de campo, designada por λ da tecnologia. O [primeiro circuito integrado português](#) foi realizado em 1982 com tecnologia de $\lambda = 3 \mu\text{m}$. Todas as outras dimensões dos transístores eram maiores que esta; por exemplo, uma ligação metálica em alumínio tinha de ter a dimensão mínima de largura de 3λ , de modo a garantir que a pista de metal não viesse a ter falhas de continuidade.

VLSI em / in Portugal



1982 - 1º Circuito Integrado Monolítico Português /
1st Portuguese Monolithic Integrated Circuit

Podcast - Episódio 63 – O primeiro
circuito integrado português

data storage, the concept of flash memory emerged by Fujio Mazuoka (1943-). Here we enter the space of three-dimensional integrated circuits, with layers of semiconductors placed at various levels above the surface of the base silicon.

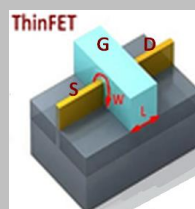
In 1989, the first transistor of the type "Depleted Lean-channel Transistor" (DELTA) was [created by researchers](#) at the [Hitachi Central Research Laboratory](#). This transistor consists of a silicon channel with a vertical fin or fin structure on which control electrodes can be placed on any of the three available sides. In the classical MOSFET, the conduction current depends on the ratio W/L (width of the channel over its length). With the miniaturisation of MOSFET, the channel length has been greatly reduced and the W/L ratio, required to obtain a given current, has highlighted the errors of the so-called short channel effects. The DELTA transistor reduced these errors considerably as it allowed to realize larger channel widths, involving the fin, and to provide high W/L.

The advantages of the DELTA transistor have been explored by several research projects. One of the projects was carried out between 1998 and 2004 and was led by Chenming Hu (1947-) at the University of Berkeley, USA.

In 2004, Samsung Electronics Company produced the first circuits with "Bulk FinFET" transistors. Today, FinFET is the transistor of choice for making highly compact digital integrated circuits.

The evolution of the FinFET concept continued and new structures such as the AGA (All Gate Around) FinFET or the [AGA FinFET NW \(nanowire\)](#) appeared. Nowadays, each FinFET can have several fins, embraced by a single control electrode (gate), which makes it much easier to control the current in the device and reduces the negative effects of the channel being too short.

Until 2009, the transistor density was determined by the minimum gate length dimension of a field effect transistor, referred as the λ of the technology. The [first Portuguese integrated circuit](#) was made in 1982 with technology $\lambda = 3 \mu\text{m}$. All other transistor dimensions were larger than this; for example, an aluminum metal link had to have a minimum width dimension of 3λ , to ensure that the metal track would not have continuity faults.



Depois de 2009, começou a usar-se a terminologia de “[technology node](#)” e o estudo “*The International Technology Roadmap for Semiconductors*” (ITRS), de 2020, [IRDS de 2020](#), esclareceu alguns dos conceitos mais recentes. Atualmente, o conceito de “technology node” está mais relacionado com a metade da distância entre um contacto metálico e a porta do transistor do que com a dimensão do comprimento do canal de um transistor MOSFET, o mais usado em circuitos de alta densidade.

Mas a densidade de transístores, nomeadamente nas aplicações de circuitos digitais, [tem vindo a crescer muito](#).

Em 2021 comemorámos 50 anos após a [fabricação do primeiro microprocessador integrado](#).

Em 2022, o circuito de microprocessador digital com maior número de transístores, 114 mil milhões, foi fabricado pela [TSMC](#) no “technological node” de 5 nm, concretizando um projeto da empresa Apple, o processador M1, baseado numa arquitetura [ARM](#). Este circuito tem uma densidade de transístores de 135 milhões / mm². A configuração destes transístores é feita por impressão de um verniz fotossensível em scâneres dotados de luz ultravioleta de ultra curto comprimento de onda ([13 nm, “quase raios X”](#)).

Em 2022, 75 anos após a invenção do transistor, sabe-se como evoluíram extraordinariamente as áreas da eletrónica, da microeletrónica e da nano eletrónica, que tornam possível implantar mais de 100 milhões de transístores por milímetro quadrado de silício em circuitos de microprocessadores; sabe-se que os processos de fabricação dos transístores atingiram resoluções nanométricas e que, com este material, se está no limite do que é fisicamente possível. Já em 2022, a [IBM](#) anunciou que desenvolveu com sucesso uma tecnologia de dois nanómetros de comprimento de canal do MOSFET, que representa apenas 10 vezes o tamanho de um átomo de silício (0,2 nanómetros).

Convém lembrar que uma coisa é o comprimento do canal de um transistor MOSFET e outra coisa é a dimensão do transistor na direção perpendicular ao canal. Ao longo do canal, a estrutura do transistor passa por várias regiões de semicondutores e condutores definindo um percurso a que se pode associar um comprimento. No século passado, as dimensões do

*After 2009, the terminology of “[technology node](#)” started to be used and the 2020 IRDS study “*The International Technology Roadmap for Semiconductors*”, (ITRS) 2020, [IRDS de 2020](#), clarified some of the more recent concepts. Currently, the concept of “technology node” is more related to half the distance between a metallic contact and the transistor gate than to the size of the channel length of a MOSFET transistor, the most used in high density circuits.*

But transistor density, particularly in digital circuit applications, [has been growing steadily](#).

In 2021 we celebrate 50 years after the [first integrated microprocessor was manufactured](#).

In 2022, the digital microprocessor circuit with the largest number of transistors, 114 billion, was manufactured by [TSMC](#) on the 5 nm “technological node”, achieving a project of the Apple company, the M1 processor, based on an [ARM](#) architecture. This circuit has a density of 135 million transistors / mm². The configuration of these transistors is made by printing a photosensitive varnish on scanners equipped with ultra-short wavelength ultraviolet light ([13 nm, “almost X-rays”](#)).

In 2022, 75 years after the invention of the transistor, it’s well known that the fields of electronics, microelectronics and nano-electronics have evolved tremendously, making it possible to implant more than 100 million transistors per square millimetre of silicon in microprocessor circuits; it’s also known that transistor manufacturing processes have reached nanometric resolutions and that, with this material, it was reached the limit of what is physically possible. As early as 2022, [IBM](#) announced that it had successfully developed a two-nanometre channel length MOSFET technology, which represents just 10 times the size of a silicon atom (0.2 nanometres).

It should be remembered that the length of the channel of a MOSFET transistor is one thing and the size of the transistor in the direction perpendicular to the channel is another. Along the channel, the transistor structure passes through various semiconductor and conductor regions defining a path to which a length can be associated. In the last century, the dimensions of the



Visão artificial / *Artificial Vision*

[Podcast](#)

[Episódio 57 – ELONICA, prótese visual](#)

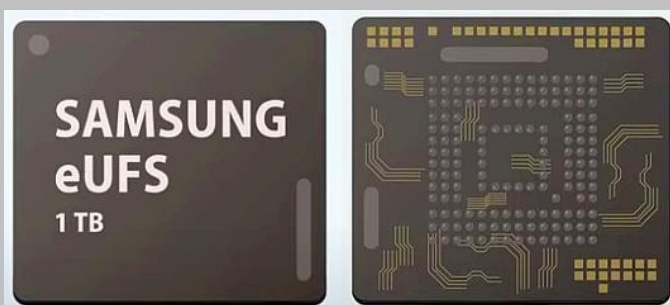
canal não justificavam a consideração de efeitos quânticos nos dispositivos comercializados; o avanço da tecnologia trouxe a miniaturização e a situação inverteu-se nas últimas décadas. Por exemplo, no processo [N7 da TSMC](#), são obtidos transístores FinFET com barbatanas/alhetas espaçadas em distâncias de pelo menos 50 nm, com a espessura de 6 nm e a altura de 50 nm. Para realizar uma célula de memória estática com 5 transístores FinFET deste tipo, a área ocupada é de 0,027 μm^2 , ou seja, cerca de 5400 nm^2 por transístor. Isto significa que, em termos médios, cada transístor e os seus contactos ocupam um quadrado com cerca de 75 nm de lado (cerca de 10 vezes os 7 nm que deram o nome à tecnologia).

Pode [ver aqui algumas fotografias](#) tiradas com microscópio eletrónico para o processo TSMC 5 nm, que esclarecem um pouco qual é a relação entre a dimensão dos transístores e a área ocupada.

Mas a maior densidade de transístores tem ocorrido na tecnologia de memórias 3D do tipo flash, pois estas obedecem a uma estrutura regular que é facilmente escalável. Há várias tecnologias que [estão a competir no mercado](#).

As empresas tradicionais de fabricação de discos magnéticos além de melhorarem as tecnologias dos seus discos rígidos, que em 2021 atingiram a capacidade de armazenamento de 5 TB por disco com 2,5 polegadas de diâmetro, estão atentas ao enorme desenvolvimento que as memórias flash estão a ter; estas memórias de estado sólido já são competitivas com alguns discos magnéticos tradicionais.

A empresa Western Digital, no passado dedicada só aos discos magnéticos, tem, também, produzido sistemas [baseados em memórias flash 3D](#). O maior avanço que tem sido conseguido é nas memórias flash 3D do tipo NAND, fundamentalmente devido a: i)- utilização de duas ou [mais centenas de camadas de transístores](#), depositados na vertical e ocupando a área de um único transístor no silício de base e ii)- memorização em cada transístor de mais do que um bit (atualmente até quatro bit) .



2019 - Samsung 1TB 3D NAND Flash
(2048 000 000 000 transistors)

channel did not justify the consideration of quantum effects in commercialised devices; the advance of technology brought miniaturisation and the situation has reversed in the last decades. For example, in [TSMC's N7 process](#), FinFET transistors are obtained with fins spaced at distances of at least 50 nm, with the thickness of 6 nm and the height of 50 nm. To realize a static memory cell with 5 FinFET transistors of this type, the occupied area is 0.027 μm^2 , or about 5400 nm^2 per transistor. This means that, on average, each transistor and its contacts occupy a square measuring around 75 nm on a side (around 10 times the 7 nm that gave the technology its name).

You can see here [some electron microscope photographs](#) taken for the TSMC 5 nm process, which shed some light on the relationship between transistor size and footprint.

But the highest transistor density has occurred in 3D flash memory technology, as these follow a regular structure that is easily scalable. There are several technologies that [are competing in the market](#).

The traditional magnetic disk manufacturing companies besides improving the technologies of their hard disks, which in 2021 will reach the storage capacity of 5 TB per 2.5-inch diameter disk, are aware of the huge development that flash memories are having; these solid-state memories are already competitive with some traditional magnetic disks.

Western Digital, in the past dedicated only to magnetic disks, has also produced systems based on 3D flash memories. The major advance that has been achieved is in 3D NAND flash memories, fundamentally due to: i)- the use of two or more hundreds of layers of transistors, vertically deposited and occupying the area of a single transistor in the base silicon and ii)- storage in each transistor of more than one bit (currently up to four bits).

With 256 layers of transistors and 4 bit per transistor it will be possible, in the future, to store 1 kb of digital information, in the space of a 'single base transistor. If the base transistor occupies an average area of 30 nm x 30 nm, for example, it will be possible to create memories with a density of 109 transistors/ mm^2 , i.e., 1Tb / mm^2 . In 2019, it was already possible to create a

Com 256 camadas de transístores e 4 bit por transístor será possível, no futuro, armazenar 1 kb de informação digital, no espaço de um único transístor de base. Se o transístor de base ocupar uma área média de 30 nm x 30 nm, por exemplo, poderá se possível criar memórias com uma densidade de 10^9 transístores /mm², ou seja, de 1Tb / mm². Em 2019 já foi possível realizar uma memória de 1TB, em cerca de 100 mm² de silício, com 2×10^{12} transístores, número equivalente ao do [total de neurónios e de células gliais associadas do cérebro humano](#).

Os 100 anos do Transístor

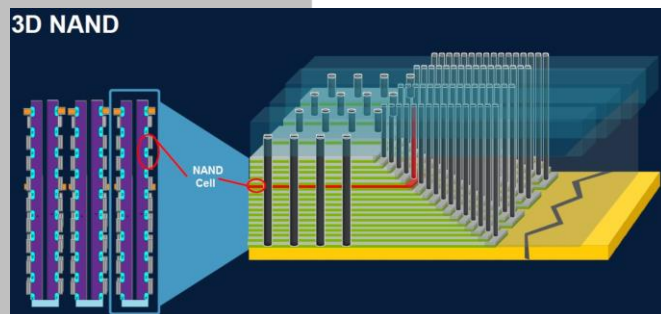
Um novo desenvolvimento tecnológico na área da eletrónica aparece geralmente pelo menos 10 anos depois de terem sido propostos conceitos teóricos inovadores. Por exemplo, o transístor FinFET, proposto em 1990, só viria a ter sucesso e aplicação generalizada em 2008.

À medida que nos aproximamos do tamanho do átomo do silício, o futuro da atual tecnologia de transístores de silício, tal como a conhecemos, está em dúvida e a duradoura lei de Moore pode finalmente ficar obsoleta. No entanto, o design de transístor mais recente, que depende de material inovador, assim como os computadores quânticos emergentes, parece assumir a continuidade e potencialmente fazer [reviver a lei de Moore](#) até com uma taxa de crescimento maior do que Moore tinha previsto.

Talvez seja interessante ver o que pensam os especialistas sobre o futuro do transístor, tal como o conhecemos atualmente.

A maioria prevê que, em 2047, o transístor de efeito de campo ainda seja o dispositivo dominante, apesar de haver novos tipos de materiais semicondutores alternativos em desenvolvimento. Muito convicto disto está o [Prof. Suman Datta](#) da *Georgia Tech University* (EUA).

O [Professor Philip Wong](#), da Universidade de *Stanford*, acredita que haverá muitas [arquiteturas de sistemas específicas](#) para domínios especializados cujo desempenho beneficiará numa aposta de um investimento forte no domínio computacional. O futuro deverá incluir sistemas baseados em silício assim como outras tecnologias como os [nanotubos de carbono embebidos em estruturas 3D](#).



3D NAND Flash memory structure (Micron)

1TB memory, in about 100 mm² of silicon, with 2×10^{12} transistors, [a number equivalent to the total number of neurons and associated glial cells in the human brain](#).

The 100 years of Transistor

A new technological development in electronics usually comes at least 10 years after innovative theoretical concepts have been proposed. For example, the FinFET transistor, proposed in 1990, would only become successful and widely applied in 2008.

As we approach the size of the silicon's atom, the future of current silicon transistor technology, as we know it, is in doubt and Moore's enduring law may finally become obsolete. However, the latest transistor design, which relies on innovative material, as well as emerging quantum computers, seems to assume continuity and potentially [revives Moore's law](#) even with a higher growth rate than Moore had predicted.

It might be interesting to see what experts think about the future of the transistor as we currently know it.

Most predict that, by 2047, the field-effect transistor will still be the dominant device, although new types of alternative semiconductor materials are under development. Most convinced of this is [Prof. Suman Datta](#) of Georgia Tech University (USA).

[Professor Philip Wong](#), of Stanford University, believes that there will be many [specific system architectures](#) whose performance will benefit from a strong investment in the computational domain. The future is likely to include silicon-based systems as well as other technologies such as [carbon nanotubes embedded in 3D structures](#).

Graphene, discovered in 1962 by Andre Geim and Konstantine Novoselov,

O grafeno, descoberto em 1962 por Andre Geim e Konstantin Novoselov, laureados com o prémio Nobel da Física em 2010, pode vir a ajudar na microeletrónica do futuro. Com o grafeno construíram-se nano folhas e nanotubos e prevê-se uma grande aplicação na área da eletrónica, dadas as qualidades de excelente condução elétrica e térmica.

Os limites da tecnologia microeletrónica estão dependentes dos sistemas de impressão litográfica e dos vernizes fotossensíveis. Há alguns avanços nos sistemas de expositores litográficos usando luz ultravioleta de comprimento de onda extremamente pequeno (EUV, Extreme Ultraviolet, na designação anglo-saxónica) que permitem fazer padrões de vários materiais com [espaçamentos de cerca de 20 nm](#). Este é um limite que atualmente condiciona a dimensão dos transístores mais pequenos.

Naoto Horiguchi, do [IMEC](#), um dos maiores centros de investigação do mundo, acredita que a redução litográfica das dimensões dos transístores continuará [pelo menos por mais 10 anos](#), apesar da redução dos dispositivos não trazer, por vezes, melhor desempenho.

Em 2022, os transístores FinFET foram usados nos "Technological Nodes" mais avançados organizados em células 2F 6T (com 2 Fins e 6 Tracks). Mas tudo indica que o caminho seguinte será o [dos transístores nano folha](#) (nano sheet) empilhados na vertical sobre o substrato do circuito. O IMEC desenvolveu a técnica de integração dos dispositivos Forksheet e [demonstrou em junho de 2021 dispositivos funcionais](#) usando esta técnica.

Embora a computação quântica esteja a ser vista atualmente como uma alternativa importante no seio das arquiteturas de computação que não são baseadas em transístores e esteja a ter avanços muito significativos, alguns especialistas, como o [Prof. Sayeef Salahuddin](#) da "University of California Berkeley", acreditam que em 2047 ainda haja um domínio das arquiteturas baseadas em transístores.

Os semicondutores alternativos ao silício, como o silício-germânio e os semicondutores baseados nos óxidos de índio-gálio, que tão boa conta têm dado de si, podem vir a ser usados em aplicações específicas, com vantagens claras sobre os dispositivos de silício.

who were awarded the Nobel Prize for Physics in 2010, could help in the microelectronics of the future. Nano sheets and nanotubes have been made of graphene, which is expected to be widely used in electronics, due to its excellent electrical and thermal conduction qualities.

The limits of microelectronic technology are dependent on lithographic printing systems and on photosensitive varnishes. There are some advances in lithographic display systems using extreme ultraviolet (EUV) radiation that allow patterns to be made of various materials with [spacing of about 20 nm](#). This is a limit that currently constrains the size of smaller transistors.

Naoto Horiguchi, of [IMEC](#), one of the world's largest research centres, believes that lithographic downsizing of transistors will continue for [at least another 10 years](#), even though downsizing devices sometimes does not bring better performance.

In 2022, FinFET transistors were used in the most advanced "Technological Nodes" organised in 2F 6T cells (with 2 Ends and 6 Tracks). But all indications are that the next path will [be nano sheet transistors](#) stacked vertically on the circuit substrate. IMEC has developed the technique of integrating Forksheet devices [and demonstrated in June 2021 functional devices](#) using this technique.

Although quantum computing is making very significant advances and is currently being seen as an important alternative within non-transistor-based computing architectures, some experts, such as [Prof. Sayeef Salahuddin](#) of the University of California Berkeley, believe that by 2047 there will still be a dominance of transistor-based architectures.

Alternative semiconductors to silicon, such as silicon germanium and indium gallium oxide semiconductors, which have performed so well, could be used in specific applications, with clear advantages over silicon devices.



**1º Satélite construído em Portugal /
1st Satellite built in Portugal**

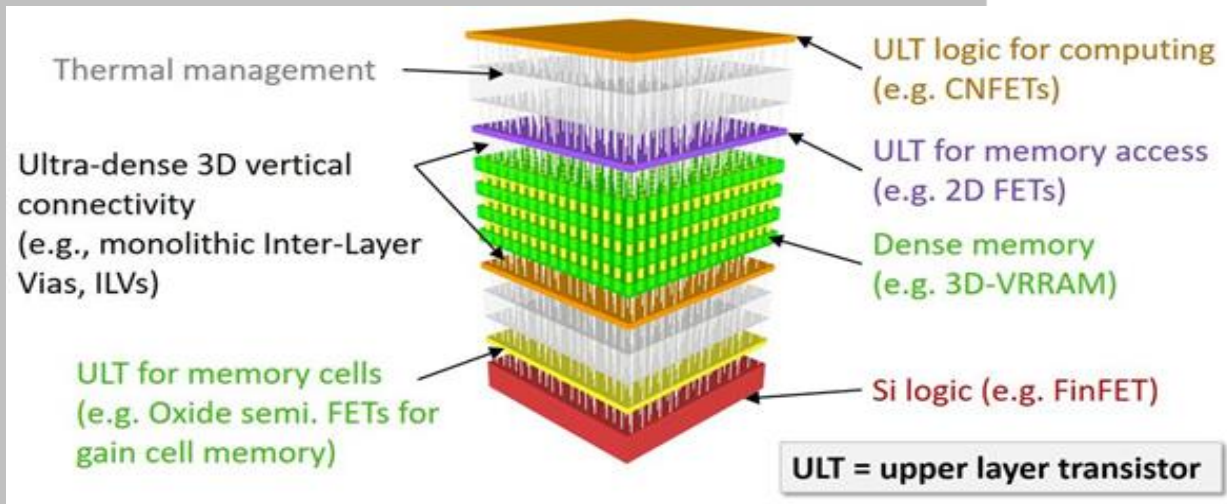
[Podcast](#)

[Episódio 34 – ISTSAT-1: O 1.º Cubesat português](#)

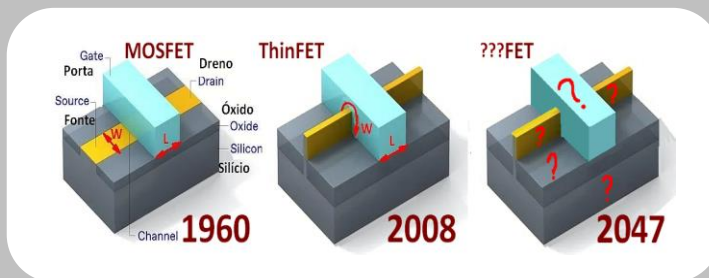
A capacidade atual de miniaturização de dispositivos pode facilitar a criação de sistemas extremamente reduzidos e com consumo energético extremamente baixo, que podem originar sistemas miniaturizados como microsátélites e até implantes para o corpo humano, substituindo alguns sistemas sensoriais e atuadores neurológicos.

Alguns investigadores apostam em arquiteturas de sistemas tridimensionais como a N3XT proposta por vários autores, como forma de continuar a aproveitar melhor a área de silício e continuar a validar a célebre regra de Moore, que se julgava que tinha os dias contados.

The current capacity of miniaturisation of devices can facilitate the creation of extremely reduced systems with extremely low energy consumption, which can originate miniaturized microsystems like microsattellites and even implants for the human body, replacing some sensorial systems and neurological actuators. Some researchers are betting on three-dimensional system architectures such as the N3XT proposed by several authors, as a way to continue to make better use of the silicon area and continue to validate the famous Moore's rule, which was thought to be at the end of its days.



**N3XT - A arquitetura, como é vista no futuro da microeletrónica /
The architecture, as seen in the future of microelectronics.**



Moisés Piedade
Prof. do IST (aposentado)
[Investigador \(aposentado\)](#) do [INESC](#)

Carlos Fernandes
Prof. do IST (aposentado)
Investigador do [IT](#)



Museu Faraday - Podcasts e ... /- Podcasts and ...

Depois de mais de dois anos de restrições relacionadas com a pandemia, o Museu Faraday (MF) e o Serviço Educativo dos Museus do Técnico (SE) retomaram as atividades, numa rotina cada vez mais próxima do que se conhecia como normalidade. Como atividades são de salientar a realização de visitas com diversos grupos nacionais e internacionais, a participação na exposição “Os Loucos Anos 20 em Lisboa” no Museu de Lisboa, a participação na XXV edição da Semana da Física, a implementação de uma parceria com o Museu São Roque, as várias contribuições para o programa Podcast “110 Histórias | 110 Objetos” do Instituto Superior Técnico (IST), e ainda a criação de duas novas salas no Museu Faraday.

AÇÕES PRINCIPAIS

I - No dia 18 de janeiro, o MF recebeu um grupo vindo da DMC/DPCC - Direção Municipal de Cultura | Divisão de Promoção e Comunicação Cultural da Câmara Municipal de Lisboa, numa visita comentada. [As visitas comentadas](#) resultam de parcerias entre a DPCC e várias entidades públicas e privadas que aceitam receber e guiar os grupos nos seus espaços.

II - No dia 7 de abril, o MF recebeu, no âmbito do programa Erasmus +, um grupo de estudantes da Technological Vocational High School, [TVHS](#) "Marie Curie" da Bulgária, Fig. 1.

III - Na exposição [«Os Loucos Anos 20 em Lisboa»](#), que decorreu de 22 abril de 2022 a 9 de dezembro de 2022 no Pavilhão Preto do Palácio Pimenta no Museu de Lisboa, estiveram patentes ao público três objetos da coleção do Prof. Moisés Piedade, expostos habitualmen-

After more than two years of pandemic-related restrictions, the Faraday Museum (MF) and the Educational Service of the Técnico Museums (SE) have resumed activities, in a routine that is increasingly closer to what was known as normality. As activities, it is worth mentioning the guided visits with several national and international groups, the participation in the exhibition "The Roaring Twenties in Lisbon" at the Museu de Lisboa, the participation in the XXV edition of the Physics Week, the implementation of a partnership with the Museu de São Roque, the several contributions to the Podcast program "110 Stories | 110 Objects" of the Instituto Superior Técnico (IST), and also the creation of two new rooms at the Museu Faraday.

MAIN ACTIONS

I - On 18 January, the MF received a group from the DMC/DPCC - Direção Municipal de Cultura | Divisão de Promoção e Comunicação Cultural da Câmara Municipal de Lisboa, on a guided tour. [The guided tours](#) result from partnerships between the DPCC and several public and private entities that accept to receive and guide the groups in their spaces.

II - On 7 April, MF welcomed a group of students from the Technological Vocational High School, [TVHS](#), "Marie Curie" from Bulgaria, under the framework of the Erasmus + programme, Fig. 1.

III - In the exhibition ["The Roaring Twenties in Lisbon"](#), which took place from 22 April 2022 to 9 December 2022 in the Black Pavilion of the Palácio Pimenta in the Museu de Lisboa, three objects from the collection of Prof. Moisés Piedade, usually exhibited in the MF, were on display to the public:

- 1- A very rare 1925 Neutrowound radio, restored at MF;
- 2- A specimen of the first portable commercial super-heterodyne radio, weighing 9 kg without batteries, designed by Prof. Edwin Armstrong for RCA in 1925;



Fig. 1 – Students / Estudantes: [TVHS Marie Curie](#).

te no MF:

1- Um rádio raríssimo Neutrowound de 1925, restaurado no MF;

2- Um exemplar do primeiro rádio super-heterodino comercial portátil, que pesa 9 kg sem baterias, projetado pelo Prof. Edwin Armstrong para a RCA em 1925;

3- Um [altifalante AMPLION AR15](#) de 1924 (corneta de madeira em forma de flor e pescoço de cisne em ferro forjado), recentemente restaurado para esta exposição.

A exposição relata a Lisboa dos anos 20 do século passado, destacando figuras proeminentes da época, e a forma como marcou a cidade a vários níveis ao longo dos 100 anos seguintes. Uma das figuras destacadas na exposição é o Arquiteto Pardal Monteiro que, em 1920, se torna primeiro-assistente da recém-criada cadeira de Arquitetura do curso de Engenharia Civil do IST e que, em 1927, inicia o projeto das instalações do IST, obra emblemática da primeira vaga de arquitetura modernista em Portugal.

IV - De 9 a 13 de maio, mais uma vez o MF acolheu os participantes da Semana da Física, organizada pelo Núcleo de Física (NFIST). Um agradecimento especial é devido aos voluntários que colaboraram, aos alunos de doutoramento do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (DEEC), Pedro Costa e Ricardo Lameirinhas, ao Eng.º Albano Inácio, e aos Professores aposentados do DEEC, Beatriz Borges e José Brázio.



Fig. 3 - Estudantes CV / CV Sudents: Ferrite Memory.



Podcast- Um telefone do século XIX

3- An [AMPLION AR15 loudspeaker](#) from 1923 (flower-shaped wooden horn and wrought iron swan neck), recently restored for this exhibition.

The exhibition recounts the Lisbon of the 1920s, highlighting prominent figures of the time, and how it marked the city at various levels over the following 100 years. One of the figures highlighted in the exhibition is the architect Pardal Monteiro who, in 1920, became the first assistant lecturer in the newly created chair of Architecture of the IST Civil Engineering course



and who, in 1927, began the design of the IST premises, an emblematic work of the first wave of modernist architecture in Portugal.

IV - From 9 to 13 May, once again the MF hosted the participants of the Physics Week, organised by the Physics Centre (NFIST). Special thanks are due to the volunteers who collaborated, to the PhD students of the



Fig. 2 - Physics Week / Semana da Física.

Department of Electrical and Computer Engineering (DEEC), Pedro Costa and Ricardo Lameirinhas, to the engineer Albano Inácio, and to the retired DEEC Professors, Beatriz Borges and José Brázio.

V - Under the Programme Ciência Viva, CV, IT - [Institute of Telecommunications](#), welcomed again this year 19 students from Secondary Education, for a week on the

V - No âmbito do programa Ciência Viva, CV, o IT – [Instituto de Telecomunicações](#) voltou este ano a receber 19 estudantes do Ensino Secundário, para uma semana sobre o tema “Introdução às Telecomunicações” (INTELE). A visita ao MF foi no dia 7 de julho, Figs. 3 e 4.

VI - No dia 7 de novembro, o MF teve a visita da empresa americana [Monolithic Power Systems](#), MPS, que pretende instalar um gabinete de projeto em Lisboa, contando com a ajuda da empresa portuguesa SiliconGate. Foi preparada uma exposição temporária sobre rádios e gravadores de fita magnética em que se enfatizaram as peças com origem nos EUA. Esta exposição continuará por mais algum tempo.

VII - No dia 15 de novembro, o MF recebeu cerca de 30 estudantes, das duas turmas do curso Cinema e Televisão da [ETIC](#) - Escola de Tecnologias Inovação e Criação.



Fig. 5 - *ETIC* Students / Estudantes *ETIC*:
Oscilograph / Oscilógrafo.

VIII - *Museólogos* consiste num diálogo entre dois museus sobre um tema. É uma atividade organizada pelo [Museu de São Roque](#), que consiste num ciclo de visitas que tem como fim pôr em diálogo as diferentes perspetivas que se pode ter de um mesmo tema, consoante o contexto em que se é posicionado.

No dia 16 de novembro, *Museólogos* pôs a dialogar o Museu de São Roque e o Museu Faraday, sobre o tema Ciência em Portugal. Durante a manhã os participantes estiveram no Museu de São Roque a relembrar alguns dos padres jesuítas que fomentaram a ciência e a tecnologia na época moderna, bem como a importância que a tecnologia teve no desenvolvimento da Santa



Fig. 4 – *CV* students / estudantes: *Questions about energy meters* / Perguntas sobre medidores de energia.

theme “Introduction to Telecommunications” (INTELE). The visit to MF took place on July 7, Figs. 3 and 4.

VI - On November 7th, the MF was visited by the American company [Monolithic Power Systems](#), MPS, which is looking to set up a project office in Lisbon, with the help of the Portuguese company SiliconGate. MF team has prepared a temporary exhibition on radios and magnetic tape recorders in which pieces originating in the USA were emphasized. This exhibition will continue for some time to come.

VII - On November 15, MF received about 30 students from the two classes of the Cinema and Television course of [ETIC](#) - Escola de Tecnologias Inovação e Criação.

VIII - *Museólogos* is a dialogue between two museums on a theme. It is an activity organised by the [Museu de São Roque](#) which consists of a cycle of visits aimed at putting into dialogue the different perspectives that can be had on the same theme, depending on the context in which it is positioned.

On the 16th of November, *Museólogos* put Museu de São Roque and Museu Faraday in dialogue on the theme Science in Portugal. During the morning, the participants were at the Museu de São Roque recalling some of the Jesuit priests who fostered science and technology in the modern era, as well as the importance that technology had in the development of Santa Casa da Misericórdia. In the afternoon, the participants spent two hours at the MF delving, with much enthusiasm, into the history of inventions in the last two centuries and into the contributions of IST to the development of



[Amplion AR15](#)



[Radiola 26](#)



[Neutrowound Radio](#)

Casa da Misericórdia. À tarde, os participantes estiveram durante duas horas no MF a aprofundar, com muito entusiasmo, a história dos inventos nos últimos dois séculos e as contribuições do IST para o desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Da responsabilidade da direção da Cultura da SCML, Serviço de Públicos e Desenvolvimento Cultural, estas visitas são de participação gratuita mediante inscrição: culturasantacasa@scml.pt.

SALAS NEWTON E Da VINCI

IX - O MF está a preparar duas novas salas: a sala Isaac Newton e a sala Leonardo da Vinci, que irão ser brevemente abertas ao público. Na sala Newton, estão concentrados equipamentos de ótica, vídeo, imagem e de áudio, com demonstrações práticas usando vários equipamentos antigos destas áreas.

A sala Leonardo da Vinci alberga neste momento diversos equipamentos de eletrotécnica provenientes de diversas origens, quer do IST (câmara anecoica do Centro de Análise e Processamento de Sinais - CAPS), quer cedidos por outras instituições. A inauguração das salas está prevista para 2023.

X – Está em preparação um espaço no MF, designado por "Canto da Personalidade", onde serão homenageadas algumas personalidades do passado e serão expostos alguns dos seus objetos científicos.

PODCASTS

O Museu Faraday e o Serviço Educativo dos Museus do Técnico estão a participar no programa Podcast "110 Histórias | 110 Objetos" do IST, [estando nove destes episódios já publicados](#) e outros sete ainda em fase de gravação.

PODCASTS

[Episódio 05](#): Um Telefone do século XIX / *A 19th century telephone*

[Episódio 31](#): O Boneco SenToy / *The SenToy doll*

[Episódio 39](#) – A Régua de Cálculo / *The slide rule*

[Episódio 54](#) – O Kit de Electromagnetismo / *The Electromagnetism Kit*

[Episódio 57](#) – ELONICA, prótese visual / *ELONICA, visual prosthesis*

[Episódio 63](#) – O primeiro IC português / *The first Portuguese IC*

[Episódio 67](#) – O projeto SUBA / *The SUBA project*

[Episódio 70](#) – O dínamo de Gramme / *Gramme's dynamo*

[Episódio 34](#) – ISTSAT-1: O 1.º Cubesat português / *ISTSAT-1: 1st Portuguese Cubesat*



[Podcast- Dínamo de Gramme - Breguet](#)

science and technology. These visits, which are the responsibility of the SCML Culture Department, Public Services and Cultural Development, are free of charge and require registration: culturasantacasa@scml.pt.

NEWTON AND DA VINCI ROOMS

IX - *The MF has two new rooms: the Isaac Newton room and the Leonardo da Vinci room, which after being arranged will be open to the public for visits. In the Newton room, optics, video, image and audio equipment are concentrated, with practical demonstrations using several old equipment of these areas.*

The Leonardo da Vinci room currently houses several pieces of electrotechnical equipment from different sources, either from the IST (anechoic chamber from the Signal Analysis and Processing Centre - CAPS) or donated by other institutions. The opening of the rooms is scheduled for 2023.

X - *A space in the MF is being prepared, called "Personality Corner", where some personalities from the past will be honored and some of their scientific objects will be exposed.*

PODCASTS

The Museu Faraday and the Educational Service of Técnico Museums are participating in the IST Podcast programme "110 Stories | 110 Objects", with [nine of these episodes already published](#) and another seven still being recorded.

PODCASTS

Em preparação / In preparation:

Contador de energia Aron / *Aron energy meter*

Kenotrão / *Kenotron*

Espectrómetro / *Spectrometer*

Oscilógrafo / *Oscillograph*

Recetor Rádio de Onda Ultra Longa / *Ultra Longue Wave receiver*

Impressor Telegráfico Português / *Portuguese Telegraphic Printer*

CRT - Brincando com eletrões / *CRT - Playing with Electrons*

Natália Rocha

[Serviço Educativo dos Museus do IST](#)

Transístor, para onde nos levamos? *Transistor, where are you taking us?*

Aos 75 anos estás cada vez mais novo, mas mais pequeno. Aproximas-te da dimensão atómica e isto pode trazer-nos ainda mais surpresas...

At 75 you are getting younger, but smaller. You approach the atomic dimension and this can bring us even more surprises...

Faraday News n. 6

Dedicado ao transístor / *Dedicated to transistor*

Conteúdo / *Summary*

1 Editorial / *Editorial*

Transistorizámo-nos? / *Have we transistored ourselves?*
Carlos Fernandes, Moisés Piedade

4 Biografia / *Biography*

Transístor = 3 Nobel? / *Transistor = 3 Nobel?*
Moisés Piedade, Carlos Fernandes

17 Personalidade / *Personality*

Prof. Abreu Faro - O Pedagogo / *The Pedagogue*
Custódio Peixeiro

25 Arte e Ciência / *Art and Science*

Quem é mais velho, o José ou o Transístor? / *Who is older, José or the Transistor?*
Moisés Piedade, Carlos Fernandes

33 Arte e Ciência / *Art and Science*

As Duas Culturas / *The Two Cultures*
Carlos Gouveia

36 Olhar de Dentro / *Looking from Inside*

Transístor de 0 a 100 / *Transistor from 0 to 100*
Moisés Piedade, Carlos Fernandes

48 Eventos / *Events*

Museu Faraday - Podcasts e ... / *Podcasts and ...*
Natália Rocha

Editores / *Editors*



Moisés Piedade
Investigador INESC-ID
Prof. IST (aposentado)
Direção / *Coordination*

Editores / *Editors*



Carlos Fernandes
Investigador IT
Prof. IST (aposentado)
Direção / *Coordination*

Editores / *Editors*



Carlos Gouveia
Prof. FLUL
Revisão / *Copy editing*