



**Heinrich Hertz e as Ondas (I)**  
*Heinrich Hertz and the Waves (I)*

Moisés Piedade,  
 Investigador INESC

As equações de James Maxwell, apresentadas em 1864, relacionam de forma integrada as várias descobertas da eletrostática e do eletromagnetismo. Com a inclusão, feita também por Maxwell, de uma nova equação que mostra que a corrente de deslocamento nos dielétricos também produz campo magnético, concluiu-se que os sinais elétricos se propagavam como ondas, nos fios e no vácuo. Esta conclusão teórica entusiasmou muitos cientistas, mas faltava a sua comprovação experimental.

*The equations of James Maxwell, presented in 1864, relate in an integrated way the various discoveries of electrostatics and electromagnetism. With the inclusion, also done by Maxwell, of a new equation that shows that the displacement current in dielectrics also produces magnetic field, it was verified that the electrical signals propagated, in wires and in vacuum, as waves. This theoretical conclusion excited many scientists, despite the lack of experimental evidence.*

**O primeiro emissor e detetor de rádio**

Para o desenvolvimento da investigação nas ondas eletromagnéticas foi fundamental a bobina de indução. Esta foi inventada por Nicholas Callan em 1836, tendo sido aperfeiçoada por outros investigadores, nomeadamente por Heinrich Rumkorff, que a patenteou em 1851. Rumkorff tornou-se mundialmente conhecido pelas faíscas elétricas gigantes que criava e, em 1858, recebeu das mãos de Napoleão III o primeiro "Volta Prize" pelas suas contribuições na eletrotécnica. O arco elétrico, ou faísca elétrica, tem um comportamento de resistência incremental negativa (depois da disrupção do ar, quando a tensão baixa e a corrente aumenta). Este funcionamento potencia a geração de oscilações amortecidas em circuitos elétricos, tendo constituído até 1916 a principal fonte potente de rádio frequência.

**The first radio transmitter and detector**

*The induction coil was fundamental for the development of electromagnetic wave research; it was invented by Nicholas Callan in 1836 and improved by other researchers, namely Heinrich Rumkorff, who patented it in 1851. Rumkorff became world-renowned for the giant electric sparks he created and, in 1858, received from Napoleon III the first "Volta Prize" for his contributions to electrical engineering. The electric arc, or electric spark, has a negative incremental resistance behavior (after the disruption of the air, when the voltage drops and the current increases). This operation enhances the generation of damped oscillations in electrical circuits, which until 1916 was the main powerful source of radio frequency.*

Em 1879, o anglo-estadunidense David Hughes fez as primeiras experiências com ondas eletromagnéticas. Hughes foi o inventor do microfone de carbono em 1878 e fez transmissão de sinais à distância de 450 metros, usando um mecanismo de relojoaria que periodicamente interrompia a corrente numa bobina de indução, gerando uma faísca elétrica. Ouvia num auscultador a perturbação resultante desta faísca, detetada num microfone de carbono colocado à distância. Hughes apresentou estes resultados na Academia de Ciências de Londres, em 1879, mas os cientistas presentes consideraram que eram fenómenos de indução eletromagnética, o que não convenceu Hughes.

*In 1879, the Anglo-American David Hughes did the first experiments with electromagnetic waves. Hughes was the inventor of the carbon microphone in 1878 and made signal transmission at a distance of 450 meters; he used a clock mechanism, which periodically interrupted the current in an induction coil, generating an electric spark. The disturbance resulting from this spark was heard in a headphone and detected in a carbon microphone placed in the vicinity. Hughes presented these results at the London Academy of Sciences in 1879, but the scientists there considered them to be phenomena of electromagnetic induction, which did not convince Hughes.*



Em 1883, na presença de William Thomson (Lord Kelvin), G. Fitzgerald, um crente na teoria de James Maxwell, apresentou um método teórico para gerar ondas eletromagnéticas com o comprimento de onda de 2 metros (150 MHz).

*In 1883, in the presence of William Thomson (Lord Kelvin), G. Fitzgerald, who believed in James Maxwell's theory, presented a theoretical method for generating electromagnetic waves with a wavelength of 2 meters (150 MHz).*

Hermann Helmholtz, professor na universidade de Berlim desde 1871, autor de muitas inovações, entre as quais o ressonador acústico, o princípio da conservação da energia e as bobinas de Helmholtz, para criar um campo quase uniforme no seu interior, foi dos primeiros cientistas alemães a dar crédito aos trabalhos de Faraday e de Maxwell.

*Hermann Helmholtz was one of the first German scientists to give credit to the works of Faraday and Maxwell. He was a professor at Berlin University since 1871 and author of many innovations, including the acoustic resonator, the principle of energy conservation, and the Helmholtz coils to create an almost uniform field inside.*

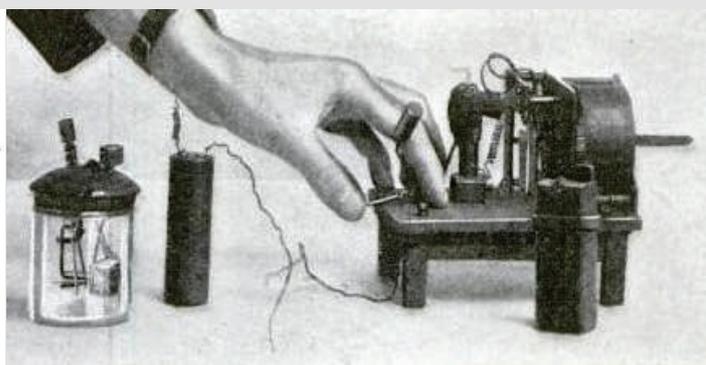
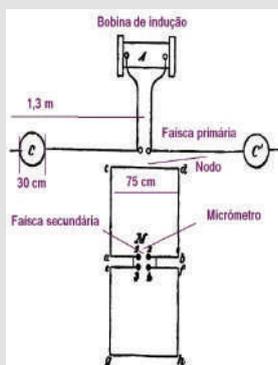
Heinrich Hertz foi educado com uma formação polivalente, nomeadamente na área da fabricação experimental de objetos, que lhe viria a ser extremamente útil nas suas engenhosas experiências. Foi para Berlim estudar engenharia, mas ao fim de um ano desistiu e formou-se em física, tendo aperfeiçoado muito os seus conhecimentos de matemática avançada e de física. Em 1879, Hertz, com 22 anos, aceitou uma bolsa do Instituto de Física de Berlim, sob orientação de Hermann Helmholtz, para procurar a relação existente entre a polarização dielétrica de vários materiais isoladores e as forças eletromagnéticas. Hertz teve acesso aos laboratórios de Helmholtz, onde desenvolveria a sua atividade e o trabalho de doutoramento, que terminou em 1880, na

Universidade de Berlim. Manteve-se nesta escola até 1883, como pós-doc e assistente de Helmholtz. Foi professor de física na Universidade de Kiel até 1885, ano em que se tornou professor na Universidade de Karlsruhe. Em 1889, depois das suas maiores descobertas, tornou-se professor de física na Universidade de Bona.

*Heinrich Hertz was educated with a multi-purpose background, namely in the area of experimental object manufacture, which would be extremely useful to him in his ingenious experiments. He went to Berlin to study engineering, but after a year he gave up and graduated in physics, having greatly improved his knowledge of advanced mathematics and physics. In 1879, when he was 22, he took a grant at the Berlin Institute of Physics, under the guidance of Hermann Helmholtz; he looked for the relationship between the dielectric polarization of various insulator materials and the electromagnetic forces. Hertz had access to Helmholtz's laboratories, where he developed his activity and his doctoral work, which he finished in 1880 at the University of Berlin. He stayed there till 1883 as a post-doctor and Helmholtz's assistant. He taught physics at the University of Kiel till 1885, when he became a professor at the University of Karlsruhe. In 1889, after his greatest discoveries, he became a professor of physics at the University of Bonn.*

**A geração de oscilações de rádio frequência**

Em 1886, em Karlsruhe, Hertz usava as bobinas espirais acopladas de Peter Riess em demonstrações nas suas aulas de física. Estas bobinas correspondiam a 2 anéis metálicos abertos, com igual diâmetro, terminados em pequenas esferas metálicas, cuja distância podia ser ajustada por um parafuso micrométrico. Hertz verificou que era relativamente fácil gerar uma faísca num anel (primário) à custa de uma bobina de indução e observar uma réplica no outro anel (secundário), supostamente por efeito de indução eletromagnética. Hertz concluiu rapidamente que não se tratava de um efeito de indução, uma vez que o afastamento



progressivo dos dois anéis não seguia a lei de decréscimo da indução eletromagnética. Chegou a notar faíscas com o anel secundário colocado a 12 m do anel primário. Além do mais, notou a existência de nodos de potencial nulo no anel recetor e verificou que a colocação de dielétricos junto das esferas do anel secundário podia aumentar ou diminuir o tamanho da faísca mas não tinha qualquer efeito junto do nodo. Através da medida da separação entre as esferas do anel secundário, pode assim calcular-se a diferença de potencial, recorrendo às leis experimentais de Friederch Paschen sobre a disrupção dielétrica. Nessa altura, Hertz só dispunha deste instrumento para determinar diferenças de potencial elevadas e detetar a presença das "futuras" ondas de rádio. Este foi o detetor de ondas de rádio usado em todas as suas experiências.

### **The generation of radio frequency oscillations**

*In 1886, in Karlsruhe, Hertz used Peter Riess' coupled spiral coils in demonstrations in his physics classes. These coils corresponded to 2 open metallic rings of equal diameter, finished in small metallic balls, whose distance could be adjusted by a micrometric screw. Hertz found that it was relatively easy to generate a spark in one ring (primary) at the expense of an induction coil and observe a replica in the other ring (secondary), supposedly due to the effect of electromagnetic induction. Hertz quickly concluded that it was not an induction effect, since the progressive distance between the two rings did not follow the law of electromagnetic induction decrease. He even noticed sparks with the secondary ring placed 12 m from the primary ring. Furthermore, he noticed the existence of null potential nodes in the receiving ring and verified that the inclusion of dielectrics near the spheres of the secondary ring could increase or decrease the size of the spark, but had no effect near the node. By measuring the separation between the balls of the secondary ring, the potential difference can thus be calculated using the experimental laws of Friederch Paschen related to the dielectric disruption. At that time, Hertz only had this instrument to determine high potential*

*differences and to detect the presence of the "future" radio waves. This was the radio wave detector used in all his experiments.*

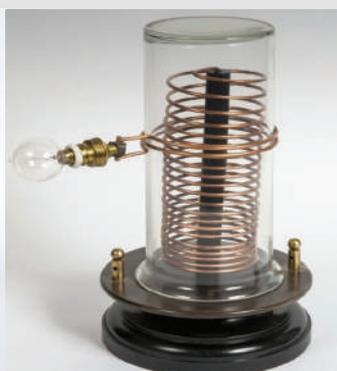
Apesar de desconhecer o método proposto anteriormente por G. Fitzgerald para gerar perturbações eletromagnéticas, Hertz usou um método semelhante e produziu oscilações eletromagnéticas com frequências muito elevadas (até cerca de 1,3 GHz). Teve sempre de adaptar o seu detetor de oscilações ao comprimento de onda a usar, de modo a este ser ressonante.

*Although he did not know the method previously proposed by G. Fitzgerald to generate electromagnetic disturbances, Hertz used a similar method and produced electromagnetic oscillations with very high frequencies (up to about 1.3 GHz). He had to keep adapting his oscillation detector to the wavelength to be used, in order to make it resonant.*

Hertz fez meticolosas experiências com materiais condutores e isoladores que mostraram que ambos os materiais poderiam influenciar a existência, ou não, de máximos e mínimos de potencial e de correntes ao longo dos condutores. As observações concordaram em pleno com a teoria de Maxwell, que previa a existência de uma propagação por ondas. Foi deste modo comprovada a teoria por via experimental.

*Hertz meticulously experimented with conductive and insulating materials that showed that both materials could influence the existence, or not, of potential or current maxima and minima along the conductors. The observations fully agreed with Maxwell's theory, which predicted the existence of wave propagation. The theory was thus experimentally evidenced.*

Uma experiência fundamental realizada por Hertz foi a da ressonância de circuitos eletricamente separados, que não podia ser simplesmente explicada como um fenómeno de indução eletromagnética. Pode encontrar-se uma réplica no Museu Faraday.



*A fundamental experiment performed by Hertz was the resonance of electrically separated circuits, which could not be simply explained as an electromagnetic induction phenomenon. A replica can be found in the IST Faraday Museum.*

Nos 2 condutores elétricos com 1,3 m de comprimento, Hertz pôde deslizar 2 esferas metálicas e observar as condições de afastamento das esferas, de modo a que a faísca primária originasse uma faísca secundária com amplitude máxima. Verificou que as presenças de objetos metálicos ou dielétricos não tinham qualquer efeito junto dos nodos mas tinham um efeito muito pronunciado na vizinhança do micrómetro de Riess. Este facto fez supor que o condutor não era equipotencial e que localizados ao longo do seu comprimento havia máximos e mínimos de potencial.

*In the 2 electric conductors with 1.3 m length, Hertz was able to slide 2 metallic balls and observe the distance conditions of the balls, so that the primary spark originated a secondary spark with maximum amplitude. He verified that the presence of metallic or dielectric objects had no effect near the nodes but had a very pronounced effect in the vicinity of the Riess micrometer. This led to the assumption that the conductor was not equipotential and that there were potential maxima and minima located along its length.*

Hertz tirou três conclusões fundamentais das observações efetuadas: 1- As alterações na polarização de dielétricos produzem campos magnéticos equivalentes aos produzidos por

correntes nos condutores; 2- Os dielétricos podem ser polarizados, quer por forças eletrostáticas, quer por forças eletromagnéticas; 3 – O ar e o espaço livre comportam-se como dielétricos normais. Estas três observações experimentais eram previstas na teoria de Maxwell e foram importantes nas futuras experiências de Hertz.

*Hertz drew three fundamental conclusions from his observations: 1- Changes in dielectric polarization give rise to magnetic fields equivalent to those produced by currents in conductors; 2- Dielectrics can be polarized either by electrostatic or electromagnetic forces; 3- Air and free space behave as normal dielectrics. These three experimental observations were predicted in Maxwell's theory and were important in Hertz's future experiments.*

Para verificar se a luz emitida pela faísca elétrica tinha influência nas oscilações, Hertz realizou experiências que lhe permitiram descobrir o efeito fotoelétrico, em 1887. Este efeito já tinha sido observado por Alexandre Bequerel em 1839, mas só foi esclarecido em 1905 por Albert Einstein (prémio Nobel da Física).

*To verify whether the light emitted by the electric spark had an influence on oscillations, Hertz conducted experiments that allowed him to discover the photoelectric effect in 1887. This effect had already been observed by Alexandre Bequerel in 1839, but was only clarified in 1905 by Albert Einstein (Nobel Prize in Physics).*

(Continua no próximo Faraday News)  
(To be continued in the next issue)

