



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Tubos e Dispositivos Eletrônicos a Vácuo (Diodo, Triodo, Tetrodo e Pentodo).

Conforme vimos em verbetes desta série, as primeiras experiências nas quais se observou a possibilidade da obtenção do vácuo foram realizadas pelos físicos, o italiano Evangelista Torricelli (1608-1647), em 1643, e o francês Blaise Pascal (1623-1662), em 1646, sobre a pressão atmosférica. No entanto, os primeiros dispositivos usados como uma **bomba de vácuo** (“bomba pneumática”) foram construídos pelos físicos, o alemão Otto von Guericke (1602-1686), em 1650, e os ingleses Robert Boyle (1627-1691) e Robert Hooke (1635-1703), em 1661.

Somente dois séculos depois da **bomba de vácuo** de Boyle-Hooke-Guericke, o físico alemão Johann Heinrich Wilhelm Geissler (1814-1879) inventou, em 1855, uma nova **bomba de vácuo** sem partes móveis. Com efeito, movendo uma coluna de mercúrio (Hg) para cima e para baixo, o vácuo acima da coluna poderia ser usado para aspirar o ar de dentro de um recipiente, pouco a pouco, até que o vácuo obtido no mesmo se aproximasse do vácuo existente sobre a coluna de mercúrio. Com essa bomba, Geissler construiu tubos rarefeitos, denominados por seu colaborador, o físico e matemático alemão Julius Plücker (1801-1868), de **tubos de Geissler**.

De posse de um desses tubos, Plücker adaptou nos mesmos dois eletrodos – **catodo** e **anodo** – e começou a realizar experiências sobre descarga elétrica. Assim, em 1858, ao conectar esses eletrodos a uma fonte elétrica, observou que os “raios” originários do catodo podiam ser desviados quando em presença de um campo magnético. Note-se que as experiências sobre descarga elétrica nos gases, realizadas por Plücker, entre 1857 e 1859, foram repetidas por seu aluno, o físico e químico alemão Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) usando **tubos de Geissler** mais rarefeitos (que, posteriormente receberam o nome de **tubos de Hittorf**) e, com eles, em 1869, confirmou as observações de seu mestre, assim como notou a sombra projetada de um objeto colocado em frente ao catodo do tubo que estava trabalhando. Essa sombra, segundo Hittorf, devia-se aos **Glimmstrahlen** (“raios avermelhados”) que eram provenientes do catodo. Logo depois, em 1871 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **46**, p. 129), o físico inglês Cromwell Fleetwood Varley (1828-1883) obteve as primeiras evidências que aqueles “raios” eram carregados negativamente.

Novas experiências com tubos rarefeitos continuaram a ser realizadas. Por exemplo, em 1875, o físico inglês William Crookes (1832-1919) construiu novos tubos rarefeitos – conhecidos como “ovos elétricos” ou **ampolas de Crookes** – e com eles realizou experiências sistemáticas com os “raios” advindos do catodo, aos quais chamou de “matéria radiante”, por acreditar serem partículas. Em seguida, em 1876, o físico alemão Eugen Goldstein (1850-1931) confirmou as observações realizadas por Hittorf sobre esses “raios” denominando-os, nessa ocasião, de **raios catódicos** (“kathodenstrahlen”) (vide verbete nesta série).

Um dos primeiros usos práticos da obtenção do vácuo foi realizado pelo inventor norte-americano Thomas Alva Edison (1847-1931). Assim, em 1879, ao tornar incandescente um fio de

algodão [filamento de carbono (C)] colocado em um tubo de vácuo e acionado por corrente contínua de uma bateria elétrica, ele inventou a **lâmpada elétrica**. Apesar do imenso sucesso dessa invenção, a mesma apresentava uma grande desvantagem, pois a lâmpada enegrecia com o uso. Investigando esse defeito, Edison descobriu, em 1883, que em certas condições de vácuo e em determinadas voltagens, havia um estranho clarão azulado na lâmpada causado por uma inexplicável corrente elétrica entre os dois fios que formavam o filamento da lâmpada. Essa corrente fluía em direção oposta à corrente principal que passava no filamento, ou seja, ia do catodo para o anodo. Esse efeito ficou conhecido como **efeito Edison** ou **efeito termiônico** (vide verbete nesta série).

Por toda a década de 1880 foram realizadas novas experiências com os **raios catódicos** cuja natureza era questionada, já que um grupo de cientistas achava que esses “raios” eram partículas, como, por exemplo, Crookes, e outro grupo considerava que eram ondas, conforme a opinião de Goldstein. Na década de 1890 essa polêmica chegou a pender mais fortemente para a hipótese corpuscular quando, em 1895, o físico francês Jean-Baptiste Perrin (1870-1942; PNF, 1926) confirmou a observação feita por Varley (vista acima) de que os **raios catódicos** eram partículas carregadas negativamente. Por fim, como vimos em verbete desta série, em 1897, a polêmica encerrou-se com a célebre experiência do físico inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940; PNF, 1906) na qual demonstrou serem **elétrons** aqueles raios, ocasião em que, inclusive, calculou a relação entre a carga (e) e a massa (m) dessas partículas. Registre-se que, meses antes, o físico alemão Emil Johann Wiechert (1861-1928) realizou uma experiência análoga a essa de Thomson.

O uso prático do vácuo usado por Edison na invenção da **lâmpada elétrica**, em 1879, conforme destacamos acima, despertou o gênio inventivo de outros cientistas. Assim, no começo do Século 20, o físico e engenheiro eletricitista inglês Sir John Ambrose Fleming (1849-1945) começou suas pesquisas no sentido de melhorar a recepção de **ondas Hertzianas**. [Observe-se que a produção das “ondas Hertzianas” deu ensejo ao desenvolvimento da **telegrafia com fio (telefone)** e da **telegrafia sem fio (rádio)** (vide verbete nesta série).] Pois bem, em novembro de 1904, Fleming obteve, na Inglaterra, a patente (*GB Patent* 190.424.850) de sua invenção, descrita a seguir. Ele tomou um tubo rarefeito e substituiu o fio contínuo usado por Edison por duas placas metálicas, funcionando, respectivamente, como o catodo e o anodo. Em seguida, o catodo era aquecido à incandescência [por **efeito Joule** (vide verbete nesta série)], por uma bateria adequadamente colocada, de modo que os elétrons arrancados ao catodo (por **efeito Edison**) eram emitidos em um feixe contínuo para o anodo. Contudo, quando esse tubo era inserido no circuito de uma antena receptora de telegrafia sem fio, o anodo tornava-se alternadamente positivo e negativo devido aos sinais de rádio de alta frequência recebido. Em vista disso, os elétrons eram atraídos ao anodo no ciclo positivo e eram repelidos, no ciclo negativo. Em consequência disso, a **válvula termiônica** [nome dado por Fleming e mais tarde conhecido como **diodo a vácuo**, **válvula** ou **tubo termiônico** (“kenotron”)], funcionava como um retificador e, também, como um detector de radiofrequência. Observe-se que o **tubo de Fleming** apresentava uma vantagem em relação ao **tubo de Crookes** pois, neste, a emissão de elétrons é devida ao **efeito de campo**, para a qual é necessária uma voltagem alta [da ordem de kilovolts (kV)]. No **tubo de Fleming**, a emissão eletrônica ocorre por **efeito Edison**, para a qual se necessita, apenas, de uma voltagem baixa [da ordem de volts (V)].

Sobre Fleming, que recebeu o título de Cavaleiro (Sir), em 1929, há alguns fatos curiosos a registrar. Foi por ocasião em que foi consultor da *Marconi Wireless Telegraphy Company*, *Edison Telephone* e *Edison Electric Light Company*, que ele começou a pesquisar no sentido de melhorar a recepção de sinais telegráficos, o que lhe permitiu ter uma vida científica muito ativa. Por exemplo, em 1874, leu seu primeiro trabalho científico na *Royal Society of London* (fundada em 1660), e seu último trabalho, ainda nessa mesma Sociedade, em 1939. Recebeu várias honrarias, tais como a *Medalha Hughes* da *Royal Society*, em 1910; a *Medalha Faraday* do *Instituto de Engenheiros Elétricos*, em 1928; e a *Medalha de Ouro* do *Instituto de Engenharia de Rádio*, em 1933. Fleming era também um excelente

professor e, a famosa *regra da mão direita*, pela qual se determina o sentido do campo magnético criado por uma corrente elétrica em um circuito, é atribuída a ele [C. Süsskind, *IV: Dictionary of Scientific Biography* (Charles Scribner's Sons, 1981)]. Segundo essa regra, também conhecida como *regra de Ampère*, envolve-se o circuito percorrido pela corrente com a mão direita, de tal modo que o dedo indicador aponte o sentido da corrente; então o sentido do campo magnético é dado pela dobra dos demais dedos. Ele também escreveu 21 livros, entre 1894 e 1938, cuja relação pode ser vista no *site*: en.wikipedia.org/wiki/John_Ambrose_Fleming. Aliás, neste *site*, podem ser vistos outros aspectos da vida de Sir Fleming. Por fim, registre-se que, em novembro de 1905, ele obteve a patente americana (*US Patent* 803.684) de sua **válvula Fleming**.

Voltemos ao desenvolvimento dos **dispositivos eletrônicos (válvulas) a vácuo**. A procura da melhora na emissão e recepção de ondas eletromagnéticas Hertzianas foi o que, também, levou o inventor e engenheiro eletricista norte-americano Lee De Forest (1873-1961) a contribuir para aquele desenvolvimento. Desde 1902, ele começou a trabalhar na telegrafia sem fio (“wireless”, nome que ele não gostava e, então, passou a utilizar o nome **rádio**), uma vez que, em dezembro desse ano, solicitou uma patente (obtida em janeiro de 1904, a *US Patent* 1.214.283) para uma **antena direcional**. Ainda em 1904, ele montou um transmissor e receptor a bordo do navio *Haimun*. Contudo, foi em 1906, que ele inventou o **audion**, conhecido inicialmente como **válvula De Forest** e, a partir de 1919, como **triodo a vácuo**. Vejamos como isso aconteceu. Inicialmente, De Forest começou a trabalhar com tubos rarefeitos contendo dois eletrodos, à semelhança de Fleming. No entanto, ao incorporar uma grade entre o catodo e ao anodo e, ao conectá-la com o pólo negativo de uma bateria (para torná-la mais negativa que o catodo aterrado), observou que ela poderia controlar o fluxo de elétrons entre o catodo e o anodo, melhor que o dispositivo de Fleming, pois neste, esse controle era feito apenas aquecendo ou resfriando o catodo.

Quando De Forest conectou a antena receptora de telefonia sem fio à grade de seu dispositivo (ao qual denominou, nessa ocasião, de tubo **audion**, segundo já anotamos), observou que o mesmo não só retificava os sinais de rádio de alta frequência recebidos, assim como, também, os amplificava. Assim, em 15 de janeiro de 1907, ele solicitou a patente para esse seu invento (que recebeu o número 841.387), conseguida em fevereiro de 1908 (*US Patent* 879.532). Mais tarde, em 1912, ao conectar seus **audions** em “cascata”, obteve com eles maior amplificação do sinal de rádio, em relação ao que conseguira com apenas um deles. Com isso, acabara de inventar a primeira **válvula amplificadora**.

É interessante ressaltar que De Forest é considerado o iniciador das transmissões públicas de rádio (“broadcasting radio”) em virtude de haver, em 13 de janeiro de 1910, transmitido a apresentação do tenor italiano Enrico Caruso (1873-1921), ocorrida no *Metropolitan Opera House*, na cidade de Nova York. Registre-se que, no dia anterior, ele havia transmitido, em caráter experimental, uma parte da apresentação do maestro ítalo-norte-americano Arturo Toscanini (1867-1957). Por sua vez, em 1912, na cidade de São Francisco, De Forest começou o primeiro sistema global de comunicações radiofônicas e, em 1916, iniciou as primeiras propagandas de rádio na estação de rádio experimental, a 2XG, em Nova York. É ainda oportuno ressaltar que De Forest trabalhou na *Western Electric Manufacturing Company*, na qual foi editor da *Western Electrician*, assim como foi também um grande inventor com mais de 180 patentes em seu nome, cuja relação de algumas delas, assim como outros aspectos de sua vida, podem ser vistos no *site*: en.wikipedia.org/wiki/Lee_De_Forest e no livro do escritor norte-americano Tom Philbin (n.1934) intitulado: **As 100 Maiores Invenções da História: Uma Classificação Cronológica** (DIFEL, 2006).

Apesar do grande sucesso das válvulas a vácuo de Fleming e de De Forest em relação aos dispositivos anteriores, as mesmas apresentavam uma vida média curta, em torno de 50 horas. Em vista disso, em 1913, o físico norte-americano Harold de Forest Arnold (1883-1933) substituiu os catodos de tântalo (Ta) nos **triodos** usados por De Forest, por catodos de tungstênio ou wolfrâmio (W)

revestidos de óxido de tório (ThO), para facilitar a emissão termiônica e, ao produzir nesses **triodos** um alto vácuo, construiu um desses dispositivos cuja vida média era de mil horas. Com isso, Arnold tornou possível, e pela primeira vez, a **telefonía de longa distância**.

Conforme vimos em verbete desta série, ainda em 1913, o químico e físico norte-americano Irving Langmuir (1881-1957; PNQ, 1932) estudou a emissão termiônica de elétrons em superfícies metálicas incandescentes. Nessa ocasião, demonstrou que a densidade de corrente (J) entre os eletrodos é proporcional à potência $3/2$ da voltagem (V) ($J \propto V^{3/2}$), qualquer que fosse a forma geométrica dos eletrodos. Registre-se que, como em 1911, o físico norte-americano Clement Dexter Child (1868-1933) demonstrou uma relação semelhante para os íons, esse resultado ficou conhecido como **lei de Child-Langmuir**. Também como consequência desse estudo, Langmuir demonstrou ser: *a emissão de elétrons por catodos incandescentes uma propriedade do próprio metal de que é feito o catodo, e não apenas um efeito secundário devido à presença do gás no tubo rarefeito*. Em vista disso, inventou um **triodo de alto vácuo** (com filamento de wolfrâmio), que apresentava uma vida média longa.

Novas contribuições ao desenvolvimento dos **dispositivos eletrônicos (válvulas) a vácuo** foram dadas pelo físico teórico-experimental suíço-alemão Walter Hermann Schottky (1886-1976). Com efeito, depois de defender sua Tese de Doutorado na *Universidade de Berlim*, em 1912, sob a orientação dos físicos alemães Max Karl Ernest Planck (1853-1947; PNF, 1918) e Henrich Leopold Rubens (1865-1922), com um tema envolvendo os efeitos energéticos e dinâmicos da Teoria da Relatividade, e um estágio de pós-doutorado (1912-1914) na *Universidade de Jena*, Schottky foi trabalhar nos Laboratórios de Pesquisa da *Indústria Siemens*, entre 1914 e 1919. Nesta Indústria, ele realizou estudos teóricos, como, por exemplo, em 1914 (*Physikalische Zeitschrift* **15**, p. 872), quando investigou a influência que um elétron fora de um metal sofre de sua imagem nesse mesmo metal e, em 1918 (*Annalen der Physik* **57**, p. 541), quando analisou as condições que eram necessárias para que o movimento de elétrons em condutores poderia criar um distúrbio mensurável em amplificadores. Além desse estudo teórico, ele inventou dois importantes daqueles dispositivos: o **tubo grade de blindagem**, em 1915, e o **tetrodo**, em 1919 (*Archiv für Elektrotechnik* **8**, p. 1). Basicamente, nesses dois dispositivos, ele inseriu uma nova grade – a **grade de blindagem** (“screen-grid”) – entre a grade e o anodo no triodo de De Forest. Esse novo eletrodo apresentava a finalidade de reduzir a capacitância parasita total (ruído) relativamente alta que acontecia entre a grade e o anodo. [Sir Edmund Taylor Whittaker, **A History of the Theories of Aether and Electricity. The Modern Theories: 1900-1926** (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1953).]

Depois desse trabalho na *Siemens*, Schottky voltou à Física Teórica, porém, como sempre, com o objetivo de encontrar aplicações práticas. Assim, entre 1919 e 1923, trabalhou na *Universidade de Würzburg* e, entre 1923 e 1927, na *Universidade de Rostock*. Nesse período, ele retornou ao seu estudo da emissão eletrônica nos metais. Por exemplo, em 1923 (*Zeitschrift für Physik* **14**, p. 63), estudou a extração de elétrons em metais frios por intermédio de campos elétricos intensos. Nesse estudo, observou que a emissão termiônica era aumentada quando um campo elétrico (E) atuava na superfície emissora. Desse modo, encontrou a dependência da corrente eletrônica (I) com E, isto é: $I \propto E^{1/2}$. Essa relação ficou mais tarde conhecida como **efeito Schottky**, base dos conhecidos **diodos Schottky** (ver adiante). É interessante ressaltar que o **efeito de campo** (ou **Schottky**), pelo qual um elétron “salta” de uma superfície metálica sob a ação de campo elétrico, já havia sido previsto pelo físico austro-húngaro-norte-americano Julius Edgar Lilienfeld (1881-1963), em 1922 (*Physikalische Zeitschrift* **23**, p. 306), que se tornara conhecido por haver, em 1919 (*Physikalische Zeitschrift* **20**, p. 280), observado uma radiação óptica – logo chamada de **radiação Lilienfeld** – decorrente da incidência de elétrons em superfícies metálicas. A capacidade inventiva de Lilienfeld se tornou reconhecida quando, entre 1925 e 1928, construiu (e solicitou as respectivas patentes) dispositivos para controlar e amplificar as correntes elétricas decorrentes do **efeito de campo** (ou **Schottky**) e, em 1931, inventou

um **capacitor eletrolítico**. Para maiores detalhes sobre Lilienfeld, bem como suas invenções (e respectivas patentes) que foram precursoras dos famosos transistores MOSFET (“metal-oxide-semiconductor-field-effect-transistor”), ver o site: en.wikipedia.org/wiki/Julius_Edgar_Lilienfeld.

Retornemos a Schottky. Em 1927, ele voltou a *Siemens*, onde trabalhou até 1958. Nessa Indústria, desenvolveu outros estudos teóricos-práticos como, por exemplo, o realizado em 1930, quando ele (*Zeitschrift für Physik* **31**, p. 913) e, independentemente, B. Lange (*Zeitschrift für Physik* **31**, p. 139), explicaram teoricamente o **efeito fotovoltaico**, que se traduz pela produção de uma força eletromotriz que surge entre duas camadas de materiais diferentes, quando sujeitas a uma radiação eletromagnética. Com esse estudo, Schottky e Lange conseguiram o aperfeiçoamento da **fotocélula** por intermédio de seu envolvimento por uma película metálica [óxido cuproso (Cu_2O)] transparente muito delgada. Em 1933 (*Physikalische Zeitschrift* **34**, p. 858), Schottky e F. Waibel realizaram experiências sobre a condutividade de semicondutores pela presença de impurezas intrínsecas (“defeitos”) em sua rede cristalina, ou mesmo pela ausência (“vacâncias”) de átomos do próprio cristal em sua estrutura de rede. Em 1938, baseado no efeito que descobriu em 1923 e referido acima, Schottky desenvolveu uma teoria para explicar o comportamento retificante do contato entre um metal [p.e.: alumínio (**Al**)] e um semicondutor [p. e.: silício (Si) **tipo n**; sobre esse tipo de material, ver verbete nesta série]. Os **diodos** construídos a partir dessa teoria receberam o nome de **diodo Schottky** (DS) e, mais tarde, com o desenvolvimento das junções entre semicondutores, mostrou-se que o DS era eletricamente semelhante a uma **junção p-n** (sobre essas junções, ver verbete nesta série). Maiores detalhes sobre Schottky, ver: en.wikipedia.org/wiki/Walter_H_Schottky e

www.geocities.com/bioelectrochemistry/schottky.htm?20095.

Novas contribuições ao desenvolvimento das **válvulas a vácuo** devem-se ao físico norte-americano Albert Wallace Hull (1880-1966). Depois de defender sua Tese de Doutorado em Física na *Universidade de Yale*, em 1909, e ensinar por cinco anos no *Worcester Polytechnic Institute*, ele foi, em 1914, para o *General Electrical Research Laboratory* (GERL), em Schenectady, Nova York, onde exerceu o cargo de Assistente de Direção, entre 1928-1950. Na GERL, seu trabalho principal era o de desenvolver **válvulas a vácuo** que não apresentassem os indesejáveis ruídos, como as de De Forest e de Schottky, por exemplo. Desse modo, em 1918 (*Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **6**, p. 5), ele descreveu seu invento chamado de **dynatron**, que era um dispositivo constituído de três eletrodos: um catodo, um anodo perfurado e uma placa. Tal dispositivo era capaz de gerar oscilações eletromagnéticas de uma variada gama de frequências ou, também, ser usado como amplificador. No entanto, para eliminar os ruídos desse seu dispositivo, Hull acrescentou uma quarta grade (“screen”) entre o catodo e o anodo perfurado, e passou a chamá-lo de **pliodynatron**.

Na GERL, na década de 1920, Hull realizou uma série de inventos, como o **magnetron**, baseado em um artigo que escreveu em 1921 (*Physical Review* **18**, p. 31), no qual investigou o efeito do campo magnético uniforme sobre o movimento de elétrons entre cilindros coaxiais, com uma alternativa ao controle eletrostático [por intermédio de grades (“grids”)], usado até então nos **dispositivos a vácuo**. Um dispositivo do tipo **magnetron**, constituído de um cilindro coaxial com um campo magnético axial produzido por uma bobina e construído na GERL, em 1925, foi capaz de gerar uma potência de 15 kW na frequência de 20 kHz. Registre-se que o **magnetron** foi a base da invenção do **radar** pelo físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt (1892-1973), em 1940 (ver verbete nesta série), assim como, também, da invenção do **forno micro-ondas**, pelo engenheiro norte-americano Percy Lebaron Spencer (1894-1970), em 1945.

Ainda durante a década de 1920, Hull trabalhou na invenção de tubos eletrônicos cheios de gás, com os catodos protegidos (“catodos quentes”) contra sua alta desintegração em virtude do bombeamento de íons. Desse modo, em 1929, Hull inventou o **thyatron** (**triodo gasoso**), um dispositivo eletrônico composto de um tubo cheio de gás, e que foi originalmente concebido para

converter corrente alternada em corrente contínua, em transmissões de alta potência. No entanto, esse aparelho foi mais bem utilizado no controle eletrônico em transmissões de média potência. Registre-se que, com essa nova técnica de “catodos quentes”, Hull também inventou o **phanotron (diodo gasoso)**. Mais detalhes, ver os *sites*: en.wikipedia.org/wiki/Albert_Hull; en.wikipedia.org/wiki/Percy_Spencer.

Uma outra inovação nas **válvulas a vácuo** aconteceu, em 1926, quando o inventor alemão Bernhard D. H. Tellegen (1900-1990) construiu o **pentodo** ao inserir uma nova grade – a **grade supressora** – entre a grade de blindagem e o anodo. O papel desse novo eletrodo era o de reduzir a emissão de elétrons secundários por parte do anodo quando o **pentodo** operasse em alta voltagem. Registre-se que Tellegen e o físico holandês Gilles Holst (1886-1968) obtiveram, em janeiro de 1934, uma patente (*US Patent* 1.945.040) de um dispositivo eletrônico que amplificava oscilações elétricas. É oportuno salientar que nas décadas de 1930 e 1940 novos eletrodos (como, por exemplo, a **grade conversora penta-grade**) foram inseridos nas **válvulas a vácuo** com o objetivo de melhorar cada vez mais suas aplicabilidades nos circuitos eletrônicos. Para maiores detalhes sobre os **dispositivos eletrônicos a vácuo** ver, por exemplo, os textos: K. R. Spangenberg, **Fundamental of Electronic Devices** (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1957); Luiz Queiroz Orsini, **Circuitos Eletrônicos** (Edgard Blücher, 1963); Gaylord P. Harnwell, **Principles of Electricity and Electromagnetism** (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1966); S. Handel, **The Electronic Revolution** (Penguin Books, 1967); e Sérgio Machado Resende, **A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos** (EDUFPE, 1996).

O ponto culminante desse desenvolvimento tecnológico eletrônico a vácuo descrito neste verbete ocorreu com a invenção dos dois primeiros computadores eletrônicos: o **Colossus**, em 1944, na Inglaterra, sob a liderança do matemático inglês Alan Mathison Turing (1912-1954), e o **Electronical Numerical Integrator and Calculator** (ENIAC), em 1946, nos Estados Unidos, pelos cientistas norte-americanos John Presper Eckert (1919-1995) e John W. Mauchly (1907-1980), baseado nas idéias do matemático húngaro-norte-americano John von Neumann (1903-1957). Para maiores detalhes sobre essas máquinas, ver os textos: Philbin, op. cit.; Roger Penrose, **A Mente Nova do Rei: Computadores, Mentes e as Leis da Física** (Campus, 1991); Steve J. Heims, **John von Neumann and Nobert Wiener** (The MIT Press, 1987); e os seguintes *sites*: en.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing; en.wikipedia.org/wiki/ENIAC.

Concluindo este verbete, é interessante ressaltar que as **válvulas multi-eletródicas** (e, também, as **válvulas múltiplas**, que contém no mesmo invólucro, **diodos** e **triodos**) foram gradativamente substituídas pelos **dispositivos semicondutores (transistores)**, inventados em 1947-1948 (vide verbete nesta série).



ANTERIOR

SEGUINTE