



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



Uma Breve História dos Dispositivos Elétricos.

Segundo vimos em verbetes desta série, para os antigos filósofos gregos, existiam quatro tipos de forças: as que atuam nos corpos nas proximidades de nosso planeta Terra; as que atuam nos corpos celestes; as exercidas pela *magnetita* ou *ímã natural* (hoje conhecida quimicamente como o óxido de ferro: Fe_3O_4); e as exercidas pelo *âmbar*, quando este é atritado com um pedaço de lã. Estas duas últimas foram mencionadas pelo filósofo e astrônomo grego Tales de Mileto (624-546). Durante muito tempo os fenômenos elétricos e magnéticos, por se apresentarem bastantes semelhantes, foram confundidos, até serem, pela primeira vez, diferenciados pelo matemático italiano Ge(i)rolamo Cardano (1501-1576). Observação semelhante foi realizada pelo médico e físico inglês William Gilbert (1544-1603), que a registrou em seu famoso tratado *De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete Tellure* (“Sobre o ímã, e os corpos magnéticos, e sobre o grande ímã, a Terra”), publicado em 1600. Nos seis livros que compõem esse tratado, Gilbert reuniu suas observações experimentais sobre os fenômenos elétricos e magnéticos, nas quais mostrou que esses dois fenômenos eram diferentes ao examinar o comportamento do *âmbar* (“elektron”, em grego), quando atritado, e do ferro (Fe) quando se aproxima de um ímã. Observou, também, que o cristal de rocha e uma grande variedade de pedras preciosas apresentavam o mesmo comportamento do *âmbar*. Daí, então, chamou de *elétricos* aos corpos que se comportavam como o *âmbar* quando atritado; e de *não-elétricos*, os corpos que não conseguiam se “eletrizar” quando atritados.

É interessante salientar que, em 1629, o físico italiano, o jesuíta Niccoló Cabeo (1586-1650) publicou o livro *Philosophia magnetica in qua magnetis natura penitus explicatur, et omnium quae hoc lapide cercuntur, causae propriae afferentur*, no qual registrou, talvez pela primeira vez, o fenômeno da repulsão elétrica entre corpos eletrizados. Parece também ser dele o uso do termo *linhas de força* (*lineae virtutis*). [Sir Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity: The Classical Theories* (Thomas Nelson and Sons Ltd., 1951)].

Ao tomar conhecimento das experiências de Gilbert, o engenheiro, físico e filósofo alemão Otto von Guericke (1602-1686), em 1663, inventou o primeiro gerador eletrostático, constituído de uma esfera de enxofre (S) que era girada por meio de uma manivela. Tal esfera eletrizava-se quando sua rotação era freada com as mãos. Registre-se que Guericke confirmou a observação de Cabeo sobre a repulsão elétrica entre corpos eletrizados, assim como foi o primeiro a descobrir, em 1672, o fenômeno da *eletroluminescência*, ao perceber que a superfície da esfera reluzia quando se carregava de *fluidos elétricos* (vide verbete nesta série).

Em 15 de dezembro de 1703, o físico inglês Francis K. Hau(w)ksbee (c.1666-1713) comunicou à *Royal Society of London* o resultado de suas experiências realizadas sobre a *triboluminescência* (luminescência causada por fricção) e a *triboeletricidade* (eletricidade estática causada por fricção). Em novembro de 1706,

em nova comunicação à *Royal Society of London*, Hau(w)ksbee, apresentou os resultados de novas experiências que havia realizado friccionando tubos ocos e bastão de vidro. Para realizá-las, ele construiu o primeiro *gerador triboelétrico*, que era uma versão aperfeiçoada do gerador de Guericke, pois havia substituído a esfera de enxofre por uma esfera de cristal. É interessante ressaltar que antes, em 1705, Hau(w)ksbee inventou o eletroscópio de lâminas, composto de dois pedaços de palha suspensos lado a lado da extremidade inferior de uma lâmina metálica, que ele usava para saber se um corpo está eletrizado ou não. Segundo o físico franco-brasileiro Pierre Henri Lucie (1917-1985) [*Contacto-Ciências* 35 (1980)], as máquinas de Guericke e de Hau(w)ksbee constituíram a “tecnologia de base” para os estudos de fenômenos eletrostáticos do Século 17.

Novas experiências com *condutores elétricos* foram realizadas pelo físico holandês Willem Jacob 's Gravesande (1688-1742) registradas em seu livro *Physices elementa mathematica, experimentis confirmata. Sive, introductio ad philosophiam Newtonianam* (“Experimentos de física matemática confirmados, ou introdução à filosofia Newtoniana”), publicado em 1720. Por exemplo, ao observar que os *condutores elétricos* (por exemplo, os metais) se tornavam luminosos quando esquentados, ele inferiu que cada substância possuía uma fonte natural de corpúsculos, que eram expelidos na medida em que a substância era esquentada até se tornar incandescente.

Os geradores eletrostáticos construídos por Guericke (1663), e Hau(w)ksbee (1703), quando eletrizavam os corpos, deixavam um *effluvium elétrico*, ou “atmosfera”, em seus arredores, conforme foi denominado por Gilbert no *De Magnete*, publicado em 1600. Esses equipamentos eram capazes de eletrizar a água contida em um invólucro de vidro, bem como a outros materiais. No entanto, o *effluvium* que os eletrizava, rapidamente “evaporava-se”. Portanto, surgiu a necessidade de tentar “engarrafá-lo”.

Em 1745, o médico e físico holandês Pieter van Musschenbroek (1692-1761), da *Universidade de Leiden*, realizou uma experiência na qual tentou eletrizar água em uma jarra (garrafa), introduzindo nesta a ponta de um fio de cobre (Cu), e a outra extremidade fixou em uma barra de aço ligada por uma corrente de metal a um gerador de Guericke. Um seu aluno, de nome Andréas Cunaues, que o ajudava nessa experiência, segurava a jarra com uma de suas mãos e, ao tocar a corrente com a outra mão, sentiu um violento choque. O mesmo aconteceu com Musschenbroek quando agarrou a jarra solta por seu aluno. Essa sensação foi descrita por Musschenbroek ao seu amigo, o físico francês René Antoine Ferchault de Réamur (1683-1757), em uma carta na qual dizia: - *Senti intenso choque em meus pulsos, através de meus braços, em direção ao peito; eu jamais repetiria essa experiência, nem que fosse pela Coroa da França*. Em outra ocasião, e ainda em 1745, com a ajuda de seu irmão Jan, tampou com rolha de cortiça uma garrafa de vidro comum, com suas paredes internas e externas revestidas de uma delgada folha de prata (Ag), e encheu-a até a metade de água. Atravessou a rolha com uma haste metálica e mergulhou-a até a água. Desse modo, os Musschenbroek haviam construído um dispositivo para armazenar o *effluvium elétrico*. Também em 1745, o pastor e físico polonês Ewald Georg von Kleist (1700-1748) construiu, independentemente, um aparelho semelhante ao de Musschenbroek e apresentou-o à *Sociedade Científica de Danzig*.

Um ano depois, em 1746 (*Philosophical Magazine* 44, p. 718), o abade e físico francês Jean Antoine Nollet (1700-1770) (aluno de Musschenbroek) fez uma série de experiências com o dispositivo de Musschenbroek, ao qual denominou de

frasco (garrafa) de Leiden. Segundo Pierre Lucie (op. cit.), por essa época, fazer saltar faíscas ou receber choques tornou-se o grande passatempo nos salões europeus. Por exemplo, na Corte de Luís XV (1710-1774), Rei da França, o abade Nollet fazia demonstrações nas quais as pessoas voluntárias, ao serem suspensas com fios de seda e depois carregadas com o gerador de Guericke, conseguiam eriçar seus cabelos, emitir faíscas de seus corpos, e mesmo provocar choques nas pessoas que estavam próximas. Observe-se que, em 1752, o estadista e cientista norte-americano Benjamin Franklin (1706-1790), fazendo experiências com a garrafa de Leiden, inventou o para-raios (vide verbete nesta série).

Em 1772, o físico inglês Edward Nairne (1726-1806) construiu uma *máquina elétrica*, constituída de um pesado cilindro de vidro, que girava em torno de um eixo horizontal e central, amortecida por almofadas (de crina de cavalo envolvida por couro), do tamanho de duas mãos. Assim, o cilindro giratório constantemente em contato com o couro gerava uma pequena carga eletrostática. Em 1778 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 68, p. 823), ele publicou um trabalho no qual registrou os resultados das experiências que realizou com esse seu dispositivo eletrostático.

Mais tarde, em 1775, o físico italiano Alessandro Guiseppe Volta (1745-1827) inventou um dispositivo constituído de duas placas metálicas, uma coberta com ebonite e outra com isolante. Esfregando a placa metálica com ebonite, ela se eletrizava negativamente, e ao aproximá-la de outra placa, esta, por indução eletrostática [cujas primeiras experiências foram realizadas, em 1762 (*Künngliga Svenska Vetenskakademiens. Handlingar* 23), pelo o físico sueco Johan Carl Wilcke (1732-1796)], se eletrizava positivamente. Então descarregava a placa negativa tocando-a no solo, e repetia o processo até obter uma quantidade razoável de carga positiva. A esse acumulador de cargas, Volta deu o nome de condensador (ou capacitor).

Segundo relata o físico russo-norte-americano George Antonovich Gamow (1904-1968) em *A Biografia da Física* (Zahar Editores, 1963), os nativos da África e da América do Sul já, há muito tempo, conheciam o choque doloroso que as pessoas sentiam quando tocavam em certo peixe do rio tropical. Quando alguns desses exemplares foram levados a Londres, biólogos observaram que tais espécies só provocavam descarga elétrica quando a cabeça se juntava à cauda. Como esse efeito era análogo ao observado no *frasco de Leiden*, esse tipo de peixe foi batizado com o nome de *sirius electronicus* (“enguia elétrica”: o “poraqué” brasileiro).

A eletricidade produzida por esse peixe atraiu a atenção do fisiologista e físico italiano Luigi Galvani (1737-1798) que estava estudando o fenômeno da contração muscular das pernas de rãs. Em 1786, observou que os músculos dissecados dos membros inferiores das rãs, pendurados em ganchos de cobre (Cu), retesavam-se quando ficavam em contato com outro metal, o ferro (Fe), por exemplo, como se estivesse sob a ação de uma descarga elétrica. Atribuiu esse efeito à *eletricidade animal*. O resultado dessas experiências sobre esse tipo de eletricidade, Galvani apresentou em seu livro *De Viribus Electricitatis in Musculari Commentarius* (“Comentários sobre o Efeito da Eletricidade no Movimento Muscular”), publicado em 1791.

Em 1794, Volta repetiu a experiência realizada por Galvani, porém, apenas com metais, e mostrou que a corrente elétrica que supostamente provocara a contração dos músculos das pernas das rãs aparecia quando dois metais, soldados um no outro, eram mergulhados em uma solução de sal [cloreto de sódio (NaCl)] e água (H₂O). A esse fenômeno, puramente inorgânico, Volta chamou de *galvanismo*.

Prosseguindo com suas experiências, Volta idealizou uma série de recipientes contendo salmoura (solução saturada aquosa que contém uma maior quantidade possível de sal), nos quais mergulhou placas de zinco (Zn) e cobre e, ao ligá-las através de arcos metálicos, conseguiu produzir uma corrente elétrica contínua. Em março de 1800 (*Philosophical Transactions of the Royal Society* 90, p. 403), Volta comunicou à *Royal Society of London*, a descrição do que acabara de descobrir: pilha ou *bateria elétrica*. Inicialmente, ficou conhecida como *coluna de Volta* e, posteriormente, pilha de Volta. Em 1801, Volta demonstrou em Paris, para o general francês Napoleão Bonaparte (1769-1821), Imperador da França, o funcionamento de seu invento. Em consequência disso, Napoleão o fez *Conde e Senador do Reino da Lombardia*.

Ainda em 1800 (*Nicholson's Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* 4, p. 179), os ingleses, o químico William Nicholson (1753-1815) e o fisiologista Anthony Carlisle (1768-1840) fizeram uma primeira aplicação prática da pilha elétrica. Com efeito, usando a corrente elétrica gerada por uma pilha que haviam construído, fizeram-na atravessar um recipiente contendo H₂O; em consequência, observaram o desprendimento de gases de hidrogênio (H) e de oxigênio (O). Com isso, eles descobriram o princípio da *eletrólise* [nome cunhado pelo físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867)], base da descoberta de vários elementos químicos (vide verbete nesta série).

Muito embora a pilha de Volta tivesse permitido o desenvolvimento da *eletroquímica*, apresentava o grave defeito de descarregar-se rapidamente. Foi somente, em 1830, que o físico inglês William Sturgeon (1783-1850) conseguiu obter uma pilha de vida mais longa por intermédio do amalgamento, isto é, misturando mercúrio (Hg) à placa de zinco. Por sua vez, em 1836, o químico inglês John Frederic Daniell (1790-1845) construiu a primeira pilha que mantinha uma corrente elétrica constante por um tempo razoavelmente longo. Ele usou uma *pilha voltaica* [nome cunhado pelo médico holandês Martinus (Martin) van Marum (1750-1837)], porém, usou uma membrana para separar os elementos de cobre e de zinco. Desse modo, a pilha de Daniell deu um grande impulso na pesquisa do eletromagnetismo e teve muitas aplicações comerciais.

Façamos uma pausa no estudo das pilhas para estudarmos o desenvolvimento de novos *dispositivos elétricos*. Conforme vimos em verbetes desta série, em 1820, experiências realizadas pelos físicos, o dinamarquês Hans Christiaan Oersted (1777-1851) (também farmacêutico) e o francês André Marie Ampère (1775-1836) mostraram que a corrente elétrica (I) em um fio cria um campo magnético circundando esse fio conforme foi calculado, ainda em 1820 (*Annales de Chimie* 15, p. 222; *Journal de Physique* 41, p. 151), pelos físicos franceses Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841). Nesse trabalho, Biot e Savart afirmaram que: - *A ação experimentada por um polo magnético quando colocada a certa distância de um fio no qual circula uma corrente voltaica (I), pode ser expressa da seguinte maneira: desenhe a partir do polo considerado uma perpendicular ao fio; a força sobre esse polo é perpendicular a esta linha e ao fio, e sua intensidade é proporcional ao inverso da distância*. Em linguagem atual, a força elementar ($d\vec{F}$) (hoje, campo magnético elementar $d\vec{H}$), é calculada pela expressão:

$$d\vec{F} = CI(d\vec{s} \times \vec{r}) / r^3,$$

onde C é uma constante que depende do sistema de unidades (ver verbete nesta série) escolhido, e \vec{r} é o vetor que liga o elemento de corrente $d\vec{s}$ ao ponto onde é

calculada a força.

Em 1821, o químico sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) realizou experiências com fitas magnéticas condutoras para poder entender por que uma agulha imantada colocada sobre um fio condutor girava para um lado, e colocada sob esse fio girava em sentido contrário. Desse modo, concluiu que cada secção reta da fita correspondia a dois finos ímãs com seus polos em oposição. Nesse mesmo ano de 1821, o químico inglês Sir Humphry Davy (1778-1829) chegou a esse mesmo modelo de Berzelius em seus estudos sobre fenômenos eletromagnéticos, depois de, primeiramente, propor, sem sucesso, a ideia de que em cada secção reta do fio condutor haveria certo número de dipolos magnéticos formando um polígono.

Esse *modelo de Berzelius-Davy* foi mostrado ser incorreto por Faraday em experiências realizadas entre 1821 e 1822, nas quais mostrou que tal modelo poderia ser explicado pela hipótese de Oersted sobre o campo magnético circular criado por uma corrente elétrica. Em suas experiências, Faraday mostrou que um ímã exibia rotação em torno de um fio condutor. Mais tarde, em 1825, Faraday realizou uma série de experiências que o levaram a propor um fenômeno inverso: - *Se a corrente elétrica atua em um ímã, então este deve produzir uma reação nesta mesma corrente*. Aliás, é oportuno relatar que antes, em 1821, Ampère fez uma observação de uma “conversão de magnetismo em eletricidade” (depois conhecida como *indução eletromagnética*), sem, contudo, considerá-la como tal, daí não haver publicado.

Também em 1825, Ampère escreveu um artigo (*mémoire*) no qual registrou novas experiências realizadas sobre o efeito magnético da corrente elétrica, obtendo resultados importantes como, por exemplo, a ação do campo magnético terrestre sobre as correntes elétricas. Para medir tal efeito, construiu um aparelho baseado na deflexão da agulha magnética, denominando-o *galvanômetro* (em homenagem a Galvani) – mais tarde aperfeiçoado e chamado de amperímetro. Por outro lado, para indicar a direção que tomaria uma agulha imantada colocada nas proximidades de um fio condutor, existe uma regra – hoje conhecida como *regra da mão direita de Ampère* – segundo a qual a deflexão da agulha tomaria a direção dos dedos dobrados da mão direita, quando esta segurasse o fio condutor, desde que mantivesse o polegar na direção da corrente elétrica. É interessante esclarecer que, muito embora essa *regra* seja atribuída a Ampère, segundo Charles Süsskind [Dictionary of Scientific Biography (Charles Scribner’s Sons, 1981)], ela foi inventada pelo físico e engenheiro eletricitista inglês Sir John Ambrose Fleming (1849-1945). Registre-se que, em 1827, Ampère transformou aquela *mémoire* no famoso livro intitulado *Théorie Mathématique des Phénomènes Électrodynamiques Uniquement Dédruit de l’Expérience* (“Teoria Matemática dos Fenômenos Eletromagnéticos Unicamente Deduzida da Experiência”).

A consolidação do novo fenômeno físico – a *indução eletromagnética* – aconteceu no decorrer do ano de 1831, com as experiências realizadas Faraday, nas quais mostrou que para produzir uma corrente elétrica, devido à presença de um ímã, era necessário que o mesmo se deslocasse na região onde se encontrava o fio condutor. Faraday também observou que uma corrente variável, passando por uma bobina (fio circular), provocava o aparecimento de uma corrente transitória em uma bobina colocada nas imediações da primeira. Aliás, segundo nos conta Asimov, em sua enciclopédia *Os Gênios da Humanidade* (Bloch, 1974), a primeira experiência sobre o fenômeno da *indução eletromagnética* foi realizada pelo físico norte-americano Joseph Henry (1797-1878), em agosto de 1830, quando pesquisava por

ocasião de suas férias. Contudo, como não havia concluído suas pesquisas, deixou para completá-las, nas férias do ano seguinte.

Também em 1831, novos resultados importantes para o entendimento da relação entre eletricidade e magnetismo foram encontrados. Com efeito, antes, em 1823, Sturgeon inventara o eletroímã – pedaço (núcleo) de ferro (Fe) envolto por fios e que, quando os mesmos eram percorridos por uma corrente elétrica, o núcleo de ferro se magnetizava e passava a atrair corpos magnéticos. Em 1829, Henry aperfeiçoou o eletroímã de Sturgeon ao observar que o enrolamento excessivo de fios provocava contatos e, conseqüentemente, curtos-circuitos. Assim, isolando os fios em tiras de seda conseguiu construir eletroímãs potentes. Por exemplo, em 1831, Henry construiu na *Universidade de Yale* um eletroímã tão potente que foi capaz de levantar uma carga de uma tonelada (mil quilos) de ferro (Fe), suplantado o eletroímã de Sturgeon que levantava apenas 5 quilos de ferro. Ainda em 1831, Henry descobriu o princípio do dínamo (*motor elétrico*) capaz de converter energia elétrica em energia mecânica.

É ainda interessante destacar que, em 1837, Faraday deu uma grande contribuição ao entendimento dos capacitores, ao demonstrar que a capacidade de armazenamento da carga elétrica nesses dispositivos não depende somente da geometria de suas placas (armaduras), mas, também, da natureza do material isolante, ou *dielétrico* (conforme denominou Faraday), que é colocado entre elas. Foi por essa ocasião que ele introduziu o conceito de *polarização elétrica*, que representa a ação do campo elétrico sobre as moléculas constituintes do *dielétrico*. É interessante ressaltar que a capacidade (C) de um condensador é dada por: $C = Q/V$, onde Q representa o módulo da carga elétrica em cada placa, e V a diferença de potencial elétrico entre as placas. Como o valor de C depende de cada geometria das placas, assim como da *constante dielétrica* (ϵ) do meio entre elas, C apresenta expressões diferentes. Sobre os trabalhos de Faraday, ver: *Great Books of the Western World 42* (Encyclopaedia Britannica, Inc./ Chicago, 1993).

Voltemos ao estudo das pilhas. Com o correr do tempo e com novas ideias, outras pilhas foram construídas com os elementos mais diversos. Assim, em 1839, o físico inglês William Robert Grove (1811-1896) inventou uma célula elétrica baseada no hidrogênio (H) e no oxigênio (O) e, em 1841, o químico alemão Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) construiu uma pilha de carbono (C) e de zinco. A “pilha seca”, principal componente dos dispositivos transistorizados atuais, foi inventada, em 1866, pelo químico e engenheiro francês Georges Leclanché (1839-1882). Apesar do uso disseminado das pilhas, sua explicação físico-química só aconteceu depois do desenvolvimento da Termodinâmica, graças ao conceito de *energia livre* apresentado pelo físico e fisiologista alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), em 1877, o qual mostrou como energia química dos elementos da pilha transforma-se em energia elétrica. [Ver excertos dos trabalhos sobre os dispositivos elétricos analisados neste verbete, em: William Francis Magie, *A Source Book in Physics* (McGraw-Hill Book Company, Inc., 1935)].

As leis dos circuitos elétricos propostas pelos físicos, o alemão Georg Simon Ohm (1787-1854), em 1825-1827 [reunidas no livro *Die Galvanische Kette Mathematisch Bearbeitet* (“O Circuito Galvânico Matematicamente Analisado”), publicado em 1827], e o inglês James Prescott Joule (1818-1889), em 1841, envolvem a *resistência elétrica* (R) de um condutor. Desse modo, havia necessidade de se construir um equipamento que pudesse medir R. Um primeiro equipamento foi apresentado, em 1833 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 123, p. 130; 132), pelo físico inglês Samuel Hunter Christie (1784-1865), por ocasião de

seus estudos sobre os circuitos elétricos nos quais demonstrou que a “potência de um condutor varia diretamente com o quadrado de seu diâmetro e inversamente proporcional ao seu comprimento”. Ainda como decorrência desses estudos, concluiu que a “voltaeletricidade, a termoeletricidade, e a magnetoelasticidade seguem a mesma lei”. Para medir a R dos condutores envolvidos em seus circuitos, ele descreveu um dispositivo denominado de *arranjo diferencial*. Mais tarde, em 1843 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 133, p. 303), o físico inglês Sir Charles Wheatstone (1802-1875) descreveu um dispositivo análogo a esse de Christie. Contudo, a solução matemática para esse circuito elétrico conhecido como Ponte de Christie-Wheatstone foi apresentada pelo físico alemão Johann Christian Poggendorff (1796-1877), em 1846.

É interessante observar que, entre 1845-1847, o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) realizou uma série de experiências com redes (conjunto de malhas) elétricas, quer planas, quer espaciais. Nessas experiências, ao aplicar as leis de conservação da carga e da energia elétricas, chegou, respectivamente, às leis hoje conhecidas como *Leis de Kirchhoff*:

Lei dos Nós – Em um nó (intersecção de dois ou mais condutores), a soma das correntes elétricas que chegam até ele é igual à soma das correntes que dele saem;

Lei das Malhas – Em uma malha [conjunto de baterias (pilhas) e resistências] a soma das forças eletromotrizes das baterias é igual à soma das quedas de potencial ou voltagem nas resistências.

Na conclusão deste verbete, é oportuno fazer dois comentários. O primeiro se relaciona com a ideia de usar o transporte de cargas elétricas por intermédio de geradores eletrostáticos começou a ser desenvolvida no Século 19. Com efeito, essa proposta foi apresentada pelos físicos, o italiano Augusto Righi (1850-1920), em sua Tese de Graduação na *Escola de Engenharia da Escola Técnica de Bolonha*, em 1872; e o escocês William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907), em 1890. No Século 20, essa ideia voltou a ser discutida pelo físico russo B. N. Ugrimov, em 1925. Contudo, foi o físico norte-americano Robert Jemison van de Graaff (1901-1967) quem começou, em 1929, a desenvolver o projeto de construção de um gerador eletrostático, que hoje leva seu nome – gerador de van de Graaff -, quando ainda era bolsista (“fellow”) de pesquisa na *Universidade de Princeton*. Esse seu projeto foi concluído em 1931 (*Physical Review* 38, p. 1919), operando com a energia máxima de 1,5 MeV, e que poderia ser usado para acelerar prótons, partículas α [núcleo do hélio (He)] e íons. O segundo comentário é sobre a construção da primeira pilha atômica ocorrida, no dia 02 de dezembro de 1942, pelo físico ítalo-norte-americano Enrico Fermi (1901-1954; PNF, 1938) e sua equipe da *Universidade de Chicago*, baseada em uma *fissão nuclear* (vide verbete nesta série).



ANTERIOR

SEGUINTE