



SEARA DA CIÊNCIA CURIOSIDADES DA FÍSICA



José Maria Bassalo

As Magneto-Resistências (MR) e o Prêmio Nobel de Física de 2007.

O Prêmio Nobel de Física (PNF) de 2007 foi atribuído aos físicos, o francês Albert Fert, nascido em 1938, e o alemão Peter Andreas Grünberg, nascido em 1939, em Plzen (Pilsen, em alemão), que era na época um Protetorado Nazista da Boemia e Moravia e hoje é uma cidade da República Tcheca, famosa pela produção da cerveja tipo *pilsener*. Eles foram merecedores desse PNF por haverem descoberto, independentemente, a **magneto-resistência gigante** (MRG). Neste verbete, faremos um pequeno estudo histórico sobre essa descoberta.

Em 1857, o físico inglês Sir William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907) descobriu que a resistência elétrica de um material variava com a aplicação de um campo magnético. Essa variação, que ficou conhecida como magneto-resistência (MR), é insignificante nos metais. Vejamos como ocorre essa variação na resistência elétrica. Quando se aplica um campo magnético perpendicularmente a uma lâmina metálica na qual circula uma corrente de elétrons, estes, devido à **força de Lorentz** (1892) (vide verbete nesta série), têm a sua trajetória curvada, em forma de hélice e, conseqüentemente, há um aumento no seu percurso e, com isso, uma redução na sua velocidade média. Essa redução produz então a MR. [S. A. Solin, *Scientific American Brasil* **30**, p. 78 (2004).]

Por outro lado, a descoberta dos **semicondutores**, a partir de 1927, mostrou que essa alteração é também muito pequena neles. Contudo, o desenvolvimento das pesquisas sobre o transporte de elétrons em estruturas periódicas formadas de condutores, semicondutores e supercondutores monocristalinos, as famosas **super-redes**, realizadas nas décadas de 1960 e 1970, permitiu a descoberta de novos efeitos relacionados com grandes MR. É oportuno destacar que a idéia da existência de semicondutores foi apresentada por H. J. Seemann, em 1927, ao demonstrar que o silício (Si) metálico, quando recoberto com uma camada de óxido, poderia apresentar um aumento de condutividade. Em 1928, Eduard Grüneisen afirmou que essa nova classe de materiais era constituída de sólidos, e que apresentavam pequena resistência como função da temperatura. Em 1931, A. Schulze confirmou a existência desses sólidos especiais.

As primeiras evidências sobre a existência de grandes MR foram anunciadas, em 1975 (*Physics Letters* **A54**, p. 225), pelo físico francês Michel Jullière ao estudar o tunelamento entre filmes ferromagnéticos. Ele mediu a magneto-resistência (MR) de um sanduíche de dois filmes de ferro (Fe) e cobalto (Co), com uma camada intermediária de germânio (Ge) (Fe-Ge-Co) em duas situações: com a magnetização dos filmes em sentido paralelo e antiparalelo. Como há um efeito de tunelamento dos elétrons (vide verbete nesta série) de condução dos filmes magnéticos através da camada intermediária, a MR medida por Jullière ficou conhecida como TMR ("Tunnel Magnetoresistance").

Novas evidências sobre a existência de grandes MR, agora denominadas de GMR ("Giant Magnetoresistance"), foram apresentadas por Fert e seus colaboradores [o brasileiro Mário Norberto Baibich (nascido de pai brasileiro, na Argentina, em 1961), J. M. Broto, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich e J. Chazelas], em 1988 (*Physical Review Letters* **61**, p. 2472), ao estudarem a magneto-resistência de super-redes de ferro [(001)Fe] e cromo [(001)Cr] com uma camada de metal não-magnético. Eles observaram que, para uma

camada de 9 angströms (9×10^{-8} cm) de espessura de Cr na temperatura de $T = 4.2$ K, a resistividade foi baixada por quase um fator 2 em um campo magnético de 2 Teslas [*Tesla* (T) é a unidade de densidade de fluxo magnético no Sistema Internacional de Unidades (SI)]. Essa GMR também foi descoberta, independentemente, por Grünberg e seus colaboradores (G. Binasch, F. Saurenbach e W. Zinn), em 1989 (*Physical Review B* 39, p. 4828), ao usarem camadas de Fe com o Cr como material antiferromagnético entre elas (Fe-Cr-Fe). Registre-se que o trabalho com multicamadas nanométricas ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) envolvendo material antiferromagnético havia sido iniciado por Grünberg, em 1986 (*Physical Review Letters* 57, p. 2442), com a colaboração de R. Schreiber, Y. Pang, M. B. Brodsky e H. Sowers.

Observe-se que tanto a TMR quanto a GMR são explicadas como devido à polarização do spin dos elétrons de condução entre as camadas. Com efeito, quando as duas camadas ferromagnéticas têm a magnetização em paralelo, o elétron de condução com spin em paralelo com essa magnetização passa então pela camada intermediária, enquanto elétrons de spin antiparalelo não passam. Contudo, quando a magnetização das duas camadas é antiparalela, os dois tipos de elétrons de condução não passam. Esse é um fenômeno análogo à passagem da luz por polarímetros. Em virtude desse comportamento dos spins dos elétrons, essa técnica passou a ser conhecida como spintrônica em analogia com a eletrônica.

O interesse pelas TMR e GMR em aplicações tecnológicas, principalmente como sensores de campos magnéticos usados em **discos rígidos** (“hard-disks”) (HD) de computadores, aumentou a pesquisa básica nesse magneto-resistências gigantes. (Para detalhes dessa pesquisa, ver: www.searadaciencia.ufc.br/tintim/tecnologia/mrg/mrg03.htm). Assim, em 1994 (*Science* 264, p. 413), o físico chinês Sung-Ho Jin e sua equipe (T. H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnacht, R. Ramesh e L. H. Chen) dos *Laboratórios Bell* anunciaram a descoberta de uma colossal magneto-resistência, que ficou conhecida, a partir daí, como CMR (“Colossal Magnetoresistance”), em um cristal isolante de óxido de manganês, conhecido como **manganita** ($\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$). Eles observaram que a aplicação de um campo magnético reduzia a resistência desse cristal, pois havia a transformação do material não-magnético [lantânio (La) e cálcio (Ca)] em ferromagnético. Observaram, também, que essa transformação só ocorria em temperaturas abaixo de 150 K e com campos magnéticos de vários Teslas. Para novas pesquisas sobre a CMR em **manganitas**, ver: T. V. Ramakrishnan, H. R. Krishnamurthy, S. R. Hassan e G. Venketeswara Pai, *Proceedings of the Indian Academy of Science* **115**, p. 767 (2003). É oportuno notar que a primeira evidência da CMR foi descoberta na década de 1950 por G. H. Jonker e J. H. van Santen, nos *Laboratórios Philips*, na Holanda. (Solin, op. cit.)

Contudo, em 1995 (*Materials Science and Engineering: Solid State Materials for Advanced Technology* B31, p. 147), houve uma surpreendente descoberta relacionada à MR. Com efeito, Solin e M. Lee estavam estudando a resistência elétrica de uma super-rede semicondutora ou heteroestrutura, constituída de arseneto de gálio e arseneto de gálio e alumínio ($\text{GaAs-Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$) empilhada em um sanduíche. Eles analisavam de que maneira a espessura das camadas determinava como a super-rede se comportava como metal ou como isolante. Ao envolverem o sistema em um campo magnético, eles foram surpreendidos com o aumento da resistência da super-rede em virtude do aumento do campo magnético. Desse modo, eles haviam observado a GMR de um material envolvendo somente materiais não-magnéticos. É interessante observar que, no final da década de 1950, o físico holandês L. J. van der Pauw, dos *Laboratórios Philips*, estudou o fluxo de corrente através de semicondutores de vários formatos, na presença de um campo magnético. (Solin, op. cit.)

Em vista da singularidade do resultado acima, Solin e colaboradores (J. M. Bennett, Jean J. Heremans, Tineke Thio, D. R. Hines, M. Kawano, N. Oda, M. Sano, Tineke Thio e T. Zhou) começaram a estudar esse novo efeito de MR, que passou a ser conhecido como efeito magneto-resistência extraordinário ou EMR (“Extraordinary Magnetoresistance”), em alguns tipos de heteroestruturas. Por exemplo, em 1998, eles construíram uma heteroestrutura de antimoneto de índio e ouro (InSb-Au) e, sob um campo magnético de cinco Teslas e na temperatura ambiente, eles mediram uma MR milhares de vezes maior do que qualquer magneto-resistência até então medida

naquela temperatura (wos02.isiknowledge.com/CIW.cgi). Para vencer o desafio de estudar a EMR em nanoestruturas, a equipe de Solin juntou-se a J. Shen Tsai e Y. A. Pashkin, especialistas, respectivamente, em condução elétrica em nanoestruturas e em métodos de litografia por feixe de elétrons usados na obtenção dessas nanoestruturas, e passaram a desenvolver nanossensores de campo magnético, com o primeiro resultado apresentado em 2003 (*Journal of Vacuum Science and Technology* B21, p. 3002).

Por fim, uma nova modalidade de MR foi descoberta, em 1999 (*Physical Review Letters* 82, p. 2923), por N. Garcia, M. Munõz e Y. W. Zhao ao estudarem a resistência de nanocontatos de níquel (Ni), na temperatura ambiente e submetidos a um campo magnético de cem Oersteds (100 Oe) (*Oersted* é a unidade de intensidade do campo magnético no sistema CGS). Como o efeito desse campo é consequência da trajetória balística dos elétrons de condução ao longo do nanocontato (diferentemente do transporte difuso desses elétrons nas outras MR), a magnetoresistência medida por eles, cerca de 280% maior, passou a ser conhecida como magnetoresistência balística ou BMR (“Ballistic Magnetoresistance”). Contudo, a partir do final de 2003, os resultados obtidos dessa BMR foram questionados. (Solin, op. cit.)



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)