

Ilustração de rede neuronal baseada em memristores: nanocomponentes funcionariam de forma similar às sinapses

# O segredo do memoristor

**E**m 1971, um professor de engenharia elétrica e ciências da computação da Universidade da Califórnia em Berkeley (EUA) publicou um trabalho em que propunha a existência de um novo componente básico da eletrônica. Leon Chua defendeu a ideia de que poderia haver um resistor com memória, o memoristor, com propriedades únicas desde que fosse confeccionado na escala nanométrica. Então um conceito teórico e matemático, esse elemento seria capaz de oscilar, quase instantaneamente, entre o comportamento de um isolante e o de um semicondutor e de “lembrar” seu último nível de resistência elétrica quando deixasse de receber uma corrente. Apenas em 2008, 37 anos mais tarde, uma equipe dos HP Labs, dos Estados Unidos, produziu o primeiro circuito baseado no componente elusivo. Os pesquisadores fizeram um nanofilme de óxido de titânio com memoristores de 15 nanômetros. A partir desse trabalho, o memoristor passou a ser divulgado como um curinga em potencial da nascente nanoeletrônica. Ele seria capaz de desempenhar, mais rapidamente, com menor consumo de energia e de espaço físico, as duas tarefas mais básicas de um computador: processar (como um chip com transistores de silício) e armazenar (como os discos rígidos de PCs e a memória flash de pen drives) informação.

Até hoje, não se sabe ao certo por que os memoristores funcionam de maneira singular, embora algumas empresas, como a gigante Panasonic e a pequena Knowm, do Novo México (EUA), já estejam comercializando timidamente versões modestas de chips baseados nesse

Pesquisadores tentam mostrar qual mecanismo está por trás da capacidade de processar e armazenar dados desse componente da eletrônica

**Marcos Pivetta**

componente. A movimentação de alguns átomos de oxigênio no interior de nanofilmes feitos de óxidos metálicos, quando submetidos a distintas correntes elétricas, é a tese mais aceita para justificar as propriedades singulares dos memoristores. Uma equipe de físicos teóricos das universidades Federal do ABC (UFABC), Estadual Paulista (Unesp) e Nacional de Yokohama (Japão) propôs no início de julho, em um artigo no periódico *Scientific Reports*, uma explicação alternativa para o fenômeno: a circulação de elétrons seria a principal responsável pelas características desse componente, visto que o “andar” de átomos não seria rápido o bastante para produzir os efeitos atribuídos aos memoristores.

Esses componentes podem mudar sua resistência em razão da passagem de uma corrente elétrica em poucos picossegundos (a trilhonésima parte de um segundo equivale a um picossegundo). “Não estamos afirmando que esse efeito se deva apenas a um fenômeno eletrônico”, explica Gustavo Dalpian, físico da UFABC, coordenador da equipe que produziu o estudo teórico, feito no âmbito de um projeto temático da FAPESP. “Mas acreditamos que só a oscilação dos átomos no interior do material não seria suficiente para explicar as características dos memoristores.” Segundo o artigo, em determinadas configurações internas de seus átomos, como nas chamadas fases deficientes em oxigênio do óxido de titânio, os memoristores conseguem armazenar carga. “Isso altera suas propriedades eletrônicas e, conseqüentemente, sua capacidade de conduzir ou não a eletricidade”, afirma o físico Antonio Claudio Padilha, outro

coautor do estudo, que fez doutorado sobre o tema na UFABC e hoje realiza um pós-doutorado na Universidade de York, na Inglaterra.

**A**nova proposta de teoria para esclarecer a natureza do funcionamento do memoristor ainda precisa ser amparada por dados provenientes de experimentos. Alguns pesquisadores que trabalham há mais tempo na área se mostram céticos em relação a mudar o foco explicativo do fenômeno dos átomos para os elétrons. Esse é o caso do físico Gilberto Medeiros-Ribeiro, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Em abril deste ano, três meses antes do artigo de Dalpian e seus colaboradores, Ribeiro e uma equipe de pesquisadores da HP reforçaram a hipótese tradicional sobre o mecanismo de funcionamento desse tipo de componente com novas evidências.

Em artigo publicado na *Nature Communications*, os cientistas relataram a medição de um ruído interno origina-

do pela movimentação de íons (átomos que perderam ou ganharam elétrons) em um sistema com memoristores feitos de óxido de tântalo. “O ruído era 10 mil vezes maior nos pontos de contato entre os átomos e os eletrodos do circuito”, informa Ribeiro, que trabalhou por quatro anos e meio nos HP Labs como gerente de pesquisa com memoristores antes de ser contratado pela universidade mineira. “Nas dimensões de nossos dispositivos, basta um átomo de oxigênio ‘andar’ uma posição atômica dentro do memoristor para que sua resistência diminua 10 vezes.” No estudo, Ribeiro e os colegas da empresa norte-americana criaram memoristores em que o canal interno, o espaço em que os íons poderiam se mover, equivalia à espessura de um átomo. Como a radiação cósmica de fundo é um dos indícios da existência do Big Bang, esse ruído interno excessivo dos memoristores, que ocorre apenas em condições de contato atômico, seria uma evidência do movimento dos íons dentro do material.

Apesar de os memoristores não necessitarem de condições especiais para funcionarem, trabalhos anteriores de Ribeiro e outros pesquisadores indicam que podem ocorrer enormes variações de temperatura em pontos específicos desses componentes. “O circuito como um todo está em temperatura ambiente, mas os pontos de contato entre os óxidos metálicos e os eletrodos podem atingir 800 graus Celsius”, explica Ribeiro. Esse acúmulo de calor em certas regiões também explica a rápida movimentação dos átomos dentro desses componentes, segundo o físico da UFMG.

A estrutura de um memoristor é extremamente simples. Trata-se de um nanofilme, composto por fios de um óxido metálico de largura entre 20 e 50 nanômetros, conectado a dois eletrodos de metal, os tais pontos ou polos de contato. Não fosse por sua diminuta escala, essencial para que apresente suas particularidades, o memoristor poderia ser confundido com um resistor convencional, um dos três componentes passivos (que não geram energia) fundamentais dos circuitos eletrônicos, ao lado dos capacitores e indutores. “É um componente relativamente fácil de ser fabricado, embora ainda haja muitas questões sem resposta a respeito de seu funcionamento”, comenta Dalpian. Folhas nanométricas de memoristores podem ser empilhadas e originar colmeias com esse componente.

## Computadores baseados em memoristores consumiriam menos energia e seriam mais rápidos

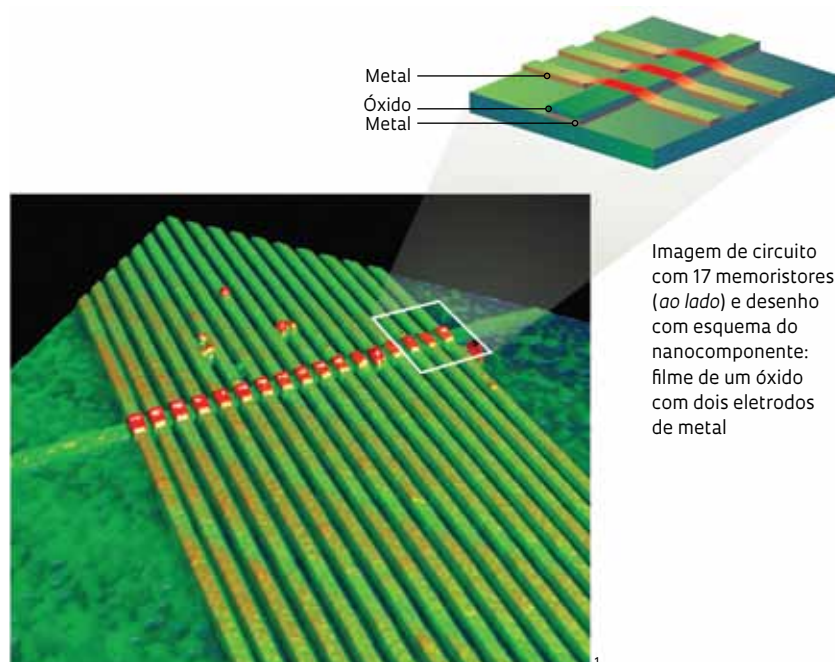


Imagem de circuito com 17 memoristores (ao lado) e desenho com esquema do nanocomponente: filme de um óxido com dois eletrodos de metal

**E**m termos funcionais, um memoristor, cujas propriedades de processamento e armazenamento costumam ser comparadas às dos neurônios, pode fazer muito mais do que um resistor. Este apresenta uma resistência elétrica constante. Sua capacidade de se opor à passagem da corrente elétrica em um circuito é constante, independentemente da voltagem em que opera. Em outras palavras, sua condutividade elétrica, grande ou pequena, de acordo com o material usado em sua fabricação, nunca muda. Por isso, o resistor é um componente fundamental para limitar e estabilizar a corrente em um sistema.

O memoristor exhibe um comportamento diferente. Quando submetido a uma determinada tensão em um certo sentido, ele se comporta quase como um isolante: a corrente elétrica passa com dificuldade pelo material. Ou seja, é muito resistente a ela, com baixa

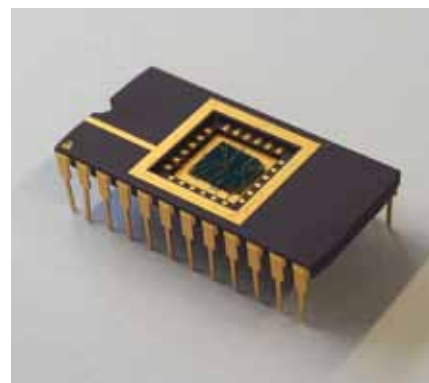
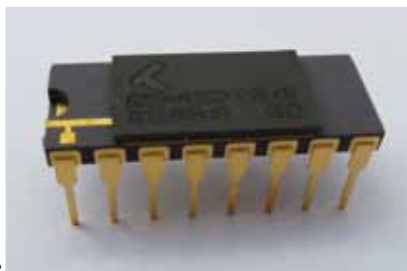
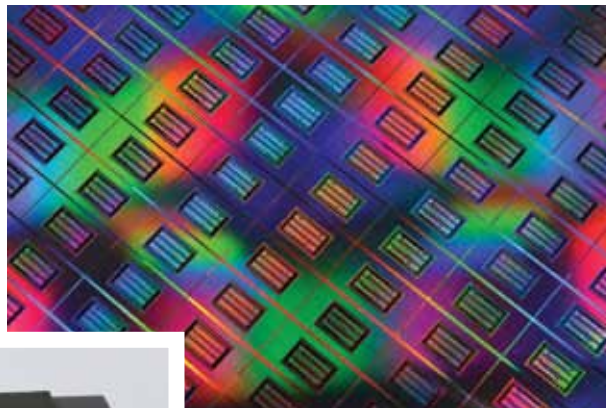
condutividade. Se a tensão e o sentido da corrente são alterados, o componente se transforma em um semicondutor ou mesmo metal, com baixa resistência elétrica. A corrente flui com facilidade. A capacidade de alternar sua condutividade-resistência faz com que o memoristor possa codificar informação na forma binária (0 e 1), como os chips atuais dos computadores. O modo isolante equivaleria ao 0 e o semicondutor ao 1, ou vice-versa.

Surpreendente é que, além de processar dados, o memoristor também consegue armazená-los. Isso é possível porque o componente se “recorda” do seu último estado de condutividade, se era o modo equivalente ao 0 ou ao 1. Quando é desligada a corrente que o alimenta, o memoristor se “lembra” se estava trabalhando no regime de quase isolante ou de semicondutor. Essa capacidade é denominada propriedade não volátil. Em termos computacionais, significa que um circuito baseado em um tipo de memória não volátil pode ser desligado e ligado novamente e, ainda assim, ele consegue recuperar as informações arquivadas. A maioria das memórias de armazenamento dos computadores atuais, como os discos rígidos e a memória flash, é desse tipo. “O tempo de gravação de dados em um memoristor é baixíssimo, da ordem de nanossegundos, e a retenção das informações dura anos”, comenta Padilha.

Além de atuar como um disco rígido para guardar informações a longo prazo, o memoristor também pode funcionar como o outro tipo de memória presente nos computadores, a RAM (memória de acesso aleatório). Esse é um tipo de memória volátil. Quando a máquina é desligada, tudo que está na RAM é perdido. É ela que permite carregar os programas que estão instalados no computador. “Ao possibilitar a integração das memórias voláteis e não voláteis em um único dispositivo, um computador hipotético baseado em memoristores poderia simplesmente ser desligado da tomada sem que fossem perdidos os programas e as informações armazenadas”, comenta Padilha. E, quando fosse religada, a máquina instantaneamente começaria a exibir os dados no ponto em que parou de funcionar.

A chance de os memoristores se tornarem o coração de uma nova geração

Protótipo de componente com a nova tecnologia da HP (à dir.), circuito comercial com oito memoristores da empresa Knowm (abaixo) e chip criado por universidade alemã: nanocircuitos mais perto do mercado



## Novo componente da nanoeletrônica poderia substituir processadores e memórias das máquinas

de computadores, com uma arquitetura que integre chips de processamento e dois tipos de memória em um só componente, parece razoável diante dos avanços da nanotecnologia. Pesquisadores acadêmicos e de empresas, como a IBM, trabalham com a ideia de que esses componentes são os que mais se assemelham a redes neurais humanas e seriam capazes de imitar as sinapses. A HP, companhia referência nos estudos com os memoristores, havia prometido lançar neste ano um computador, denominado “The Machine”, baseado nessa nova tecnologia. Mas os planos foram adiados, oficialmente por questões de economia de escala.

“Os computadores baseados em memoristores são muito mais viáveis do que as promessas de computação quântica, que necessitam de condições extremamente controladas para funcionar”, opina Ribeiro. “Mas ainda não é trivial transferir a tecnologia dos memoristores para uma linha de produção e fabricar um produto comercial.” Independentemente de eventuais divergências sobre os mecanismos que geram as propriedades características desses componentes, seu colega Dalpian pensa de maneira semelhante. “Embora seja fácil, em tese, construir memoristores, há questões de controle de qualidade dos componentes ainda não totalmente resolvidos”, ressalva ele. ■

### Projeto

Propriedades eletrônicas, magnéticas e de transporte em nanoestruturas (nº 2010/16202-3); Modalidade Projeto Temático; Pesquisador responsável Adalberto Fazzio (IF-USP); Investimento R\$ 1.327.201,88.

### Artigos científicos

PADILHA, A. C. M. *et al.* Charge storage in oxygen deficient phases of TiO<sub>2</sub>: Defect Physics without defects. *Scientific Reports*. 1º jul. 2016.  
YI, W. *et al.* Quantized conductance coincides with state instability and excess noise in tantalum oxide memristors. *Nature Communications*. 4 abr. 2016.