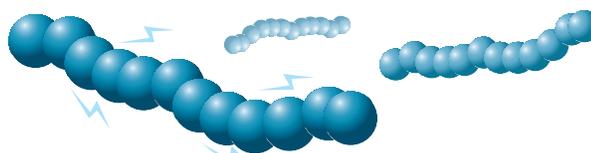


Nobel 2000

Polímeros Condutores: Descoberta e Aplicações



Romeu C. Rocha-Filho

O Prêmio Nobel de Química de 2000 foi outorgado aos descobridores dos polímeros condutores. Este artigo relata breves biografias dos três ganhadores do Prêmio e algumas das aplicações dos polímeros condutores.

► polímeros condutores, Prêmio Nobel ◀

O físico Alan J. Heeger (Univ. da Califórnia em Santa Bárbara, EUA) e os químicos Alan G. MacDiarmid (Univ. da Pensilvânia, em Filadélfia, EUA) e Hideki Shirakawa (Univ. de Tsukuba, Japão) ganharam o Prêmio Nobel de Química de 2000 “pela descoberta e desenvolvimento de polímeros condutores”.

A editoria e o conselho editorial de *Química Nova na Escola* têm estado atentos ao que vem ocorrendo na comunidade científica internacional e aos avanços da química. Assim, considerando que o tema “polímeros condutores” tem grande interesse da sociedade em geral e para o ensino de química em particular, o n. 11 da revista, publicado em maio de 2000, apresentou extenso artigo sobre polímeros condutores (Faez *et al.*, 2000), no qual relata-se: a) como os polímeros condutores foram descobertos; b) como conduzem eletricidade; c) como são sintetizados; d) as suas aplicações, sendo que uma delas (dispositivos eletrocromáticos) é explicada em mais detalhes; e) as instituições brasileiras onde há grupos de pesquisadores de polímeros condutores. Assim, neste artigo, após rememorar a descoberta em si, daremos ênfase às aplicações dos polímeros condutores

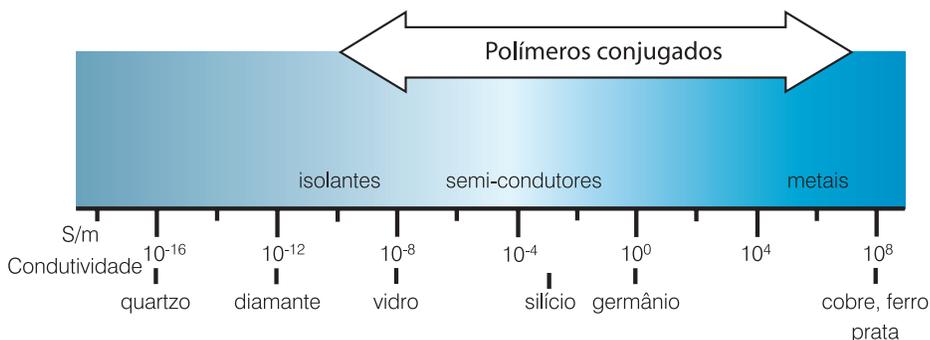


Figura 1: Polímeros conjugados podem apresentar condutividade elétrica desde a típica de materiais isolantes até a de metais, passando pela de semicondutores.

e apresentaremos breves biografias dos cientistas que ganharam o Prêmio.

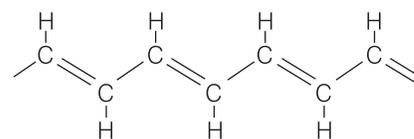
A descoberta

Os polímeros condutores foram descobertos na segunda metade da década de 70, quando Shirakawa trabalhou junto com Heeger no laboratório de MacDiarmid, na Univ. da Pensilvânia (Faez *et al.*, 2000). Eles produziram o primeiro “metal orgânico”, ao descobrirem que a condutividade elétrica (Figura 1) do poliacetileno poderia ser aumentada de cerca de 10 ordens de grandeza por meio de sua oxidação com cloro, bromo ou vapor de iodo; este processo, por analogia com a dopagem de semicondutores extrínsecos, foi chamado de “dopagem”.

Da década de 70 para cá, a pes-

quisa nesta área expandiu-se enormemente. A última Conferência Internacional sobre Metais Sintéticos, ICSM 2000, ocorrida em Gastein, na Áustria, contou com a participação de mais de 2500 pesquisadores de todo o mundo, inclusive um grande contingente de brasileiros.

Uma propriedade chave de um polímero condutor é a presença de ligações duplas conjugadas ao longo da cadeia do polímero. Na conjugação (vide abaixo), as ligações entre os átomos de carbono são alternadamente simples e duplas.

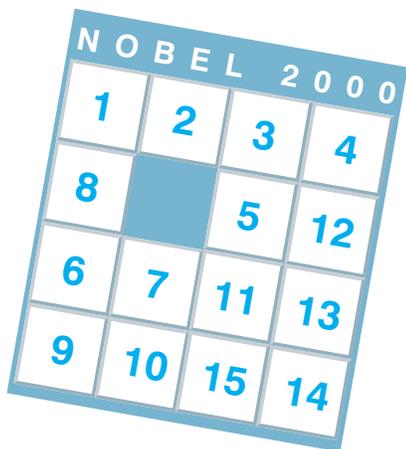


Cada ligação contém uma ligação “sigma” (σ) que forma uma ligação

A seção “Atualidades em química” procura apresentar assuntos que mostrem como a química é uma ciência viva, seja com relação a novas descobertas, seja no que diz respeito à sempre necessária revisão de conceitos.

química forte. Por outro lado, cada ligação dupla também contém uma ligação “pi” (π) menos fortemente localizada e, por isso, mais fraca. Entretanto, não basta que o polímero tenha ligações duplas conjugadas. Para que ele se torne condutor elétrico, tem que ser perturbado, tanto por meio da remoção de seus elétrons (oxidação) como por meio da inserção de elétrons (redução); este processo é conhecido como ‘dopagem’.

O jogo abaixo corresponde a um modelo simples de um polímero dopado. As suas peças não podem ser movimentadas se não houver pelo menos um “buraco” vazio. Em um polímero condutor que foi dopado por oxidação (remoção de elétrons: equivalente à criação dos buracos no jogo), cada peça corresponde a um elétron que pode pular para um buraco deixado vazio por outro elétron, o que cria um movimento de elétrons ao longo da molécula – uma corrente elétrica. Ressalte-se que este modelo corresponde a uma grande simplificação, mas dá uma idéia aproximada de como um polímero se torna condutor.



São diversos os polímeros condutores; além do poliacetileno, os mais comuns são a polianilina, o polipirrol, o politiofeno, o poli(*p*-fenileno) e o poli(*p*-fenileno vinileno).

Aplicações

Um dos principais interesses no uso desses polímeros está na manufatura de baixo custo através do processamento de soluções de polímeros formadores de filmes. Mostradores de luz e circuitos integrados, por exemplo,

podem teoricamente ser fabricados usando técnicas simples, semelhantes a do jato de tinta de impressoras.

A polianilina tem sido usada como um condutor e para a blindagem eletromagnética de circuitos eletrônicos e também como inibidora de corrosão. Derivados do poli(*p*-fenileno vinileno) são fortes candidatos para a camada ativa na produção de mostradores eletroluminescentes (mostradores de telefones celulares, por exemplo). Já alguns derivados do politiofeno são promissores para transistores de efeito de campo, os quais possivelmente venham a ser usados em caixas de supermercados. O polipirrol, por sua vez, tem sido usado em camadas delgadas ativas de sensores analíticos. Um outro polímero condutor, o poli(etileno dioxitiofeno) dopado com o ácido poliestirenosulfônico (PEDOT-PES) é usado como película anti-estática para prevenir a deposição de partículas de pó em emulsões fotográficas e evitar descargas elétricas; o PEDOT-PES também tem sido usado como material do eletrodo injetor de buracos em aparatos emissores de luz à base de polímeros (vide abaixo). Em monitores de vídeo matriciais coloridos, derivados de poli(dialquilfluoreno) têm sido usados na camada emissora.

Outras aplicações possíveis de polímeros condutores incluem a produção de capacitores eletrolíticos e de supercapacitores.

Polímeros eletroluminescentes - LEDs orgânicos

À medida que polímeros de alta pureza passaram a ser disponíveis, uma gama de aparatos semicondutores tem sido investigada, entre eles diodos emissores de luz, mais conhecidos pela sigla

inglesa LED (*light-emitting diode*). Estes novos LEDs de polímeros são conhecidos como OLEDs, pois são orgânicos em vez de baseados em semicondutores extrínsecos inorgânicos.

OLEDs são fabricados a partir de polímeros semicondutores eletroluminescentes; para ser eletroluminescente, um polímero, além de ser semicondutor, deve ser fluorescente, isto é, ser capaz de emitir luz visível, ao absorver radiação ultravioleta. O fenômeno da eletroluminescência em polímeros semicondutores foi relatado pela primeira vez em 1990, para o poli(*p*-fenileno vinileno): um filme deste polímero colocado entre dois eletrodos emite luz amarelo-esverdeada. A Figura 2 mostra esquematicamente os componentes de um OLED. O eletrodo metálico (cálcio em contato com alumínio) é o catodo e, portanto, injeta elétrons no polímero semicondutor; o outro eletrodo (PEDOT-PES em contato com um filme condutor e transparente de óxido de índio e estanho -ITO) é o anodo, que retira elétrons, injetando buracos no polímero semicondutor. Quando os elétrons e buracos injetados se recombinam no seio do polímero, ocorre a emissão de luz, cuja cor pode variar em função do tipo de polímero semicondutor fluorescente utilizado.

Como os OLEDs são emissores de luz, seu uso em mostradores é vantajoso em relação aos cristais líquidos, pois estes requerem uma fonte emissora de luz independente. Por outro lado, OLEDs requerem menor potência, são capazes de alto brilho e possibilitam uma grande diversidade de cores; outra grande vantagem é que a luz por eles emitida é lambertiana, isto é, ela é igualmente brilhante em todas as direções (ao contrário do que ocorre em visores de cristal líquido). O pri-

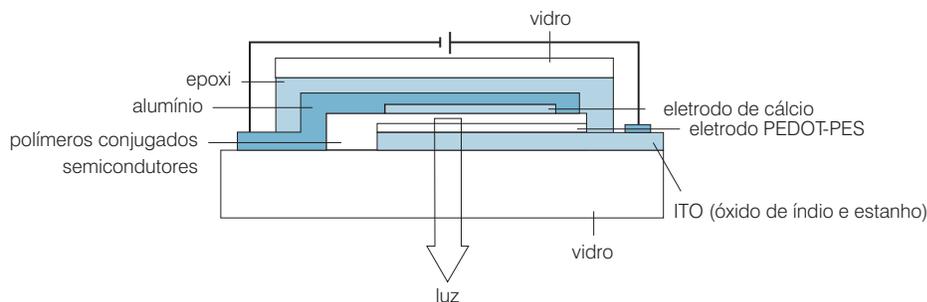


Figura 2: Componentes básicos de um OLED – diodo orgânico emissor de luz.

meiro micromostrador de OLED foi lançado em outubro de 2000 pela empresa eMagin (<http://www.emagincorp.com/>).

Transistores orgânicos

Os primeiros transistores poliméricos foram desenvolvidos no início dos anos 90. Mais recentemente, técnicas semelhantes à do jato de tinta de impressoras foram desenvolvidas para a produção de transistores plásticos cada vez menores, a partir de polímeros semicondutores.

As primeiras aplicações vislumbradas para os transistores orgânicos foram a produção de cartões de crédito inteligentes e telas flexíveis para monitores de computadores. Mais recentemente, está sendo perseguida a produção do chamado "papel eletrônico", uma combinação de transistores poliméricos com outra tecnologia, a tinta eletrônica. Esta contém milhões de minúsculas cápsulas que respondem a sinais elétricos de modo a que mostrem um corante preto ou um pigmento branco; uma vez ativada, a imagem é mantida com o uso de pouca ou nenhuma energia adicional. O "papel eletrônico" será, na realidade, um mostrador eletrônico plástico que, se bem sucedido, poderá ser atualizado via computadores, telefones sem fio ou mesmo conexões via internet. Usos potenciais seus são em mostradores leves ultra-finos para telefones celulares, assistentes eletrônicos pessoais e livros eletrônicos.

Considerações finais

O uso tecnológico de polímeros condutores ainda está na sua infância. Assim, muitas novidades certamente surgirão nos próximos anos. Recentemente, cientistas da Univ. do Texas em Austin, EUA, relataram o uso de um novo biomaterial, um polímero condutor aditivado com açúcar. Este material foi usado para acelerar o crescimento e reparação de nervos danificados, com bons resultados. Até recentemente, este biomaterial só havia sido testado em células de tecidos de ratos. Se bem sucedido em humanos, ele poderá ser muito útil na recuperação de pacientes com danos severos em nervos das pernas ou braços, rompidos em acidentes.

Romeu C. Rocha-Filho, licenciado em química, doutor em ciências (área de físico-química), pela USP, é docente do Departamento de Química de Universidade Federal de São Carlos.

Os premiados

Alan G. MacDiarmid



Nasceu em 1927, em Masterton, na Nova Zelândia; é cidadão americano. Mestre em ciências (1950) pela Univ. da Nova Zelândia, doutorou-se pela Univ. de Wisconsin (1953) e pela Univ. de Cambridge (1955). Ainda em 1955, passou a ser professor do Depto. de Química da Univ. da Pensilvânia, em Filadélfia, onde, desde 1988, ocupa a Cadeira Blanchard de Química. Em 1999 recebeu o Prêmio de Química de Materiais da Sociedade Americana de Química. Nos últimos 20 anos, tem estado envolvido exclusivamente com polímeros condutores, particularmente com a síntese, a química, a dopagem, a eletroquímica, a condutividade, as propriedades ópticas e magnéticas e o processamento do poliacetileno e da polianilina. Detém mais de 20 patentes registradas e é autor de mais de 600 publicações acadêmicas, entre elas sete artigos com pesquisadores brasileiros. Já esteve no Brasil diversas vezes como conferencista convidado do Congresso Brasileiro de Polímeros.

Alan J. Heeger



Nasceu em 1936, em Sioux City, estado de Iowa, nos EUA. Bacharel em ciências (1957) pela Univ. de Nebraska, doutorou-se em física (1961) pela Univ. da Califórnia, em Berkeley. De 1962 a 1982 foi professor no Depto. de Física da Univ. da Pensilvânia, em Filadélfia, onde foi diretor do Laboratório para Pesquisas sobre a Estrutura da Matéria (1974 a 1981). Desde 1982 é professor de física na Univ. da Califórnia em Santa Bárbara (UCSB), onde a partir de

1987 também tornou-se professor de materiais (na Engenharia); foi diretor do Instituto de Polímeros e Sólidos Orgânicos (1982 a 1999). Detém mais de 40 patentes registradas e é autor de mais de 650 publicações acadêmicas. Em 1990, juntamente com seu colega Paul Smith, professor de materiais na UCSB, fundou a empresa Uniax Corporation. Inicialmente voltada para o desenvolvimento de um método prático para fundir polianilina e para o seu processamento em solução, logo a empresa passou a investigar polímeros eletroluminescentes e seus usos em aparatos poliméricos emissores de luz; atualmente já dispõe de protótipos de diodos orgânicos emissores de luz - OLEDs. Em março de 2000, a Uniax foi comprada pela DuPont Displays, do grupo da Dupont Technologies. Esteve no Brasil há alguns anos participando como conferencista do Congresso Brasileiro de Física da Matéria Condensada.

Hideki Shirakawa



Nasceu em 1936, em Tóquio, Japão. Doutorou-se (1966) pelo Instituto de Tecnologia de Tóquio, onde permaneceu como pesquisador no Laboratório de Recursos Químicos. No final da década de 70, após a descoberta dos polímeros condutores com Heeger e MacDiarmid, passou a ser professor de química no Instituto de Ciências dos Materiais da Univ. de Tsukuba. Atualmente, em decorrência de sua aposentadoria no 1º semestre de 2000, é professor emérito dessa universidade. Autor de mais de 300 publicações científicas, é o primeiro japonês a ganhar o Prêmio Nobel desde 1987. Em novembro de 2000, também recebeu a Ordem da Cultura do governo japonês.

Referências bibliográficas

FAEZ, R.; REIS, C.; FREITAS, P.S. de; KOSIMA, O.K.; RUGGERI, G. e DE PAOLI, M.-A. Polímeros condutores. *Química Nova na Escola*, n. 11, p. 13-18, 2000.

Para saber mais

DAVISS B. Paper goes electric. *New Scientist*, v. 162, n. 2186, 15/05/1999, p. 36.

FOX K.C. The electric plastics show. *New Scientist*, v. 141, n. 1915, 05/03/1994, p. 33.

KANER, R.B. e MACDIARMID, A.G. Plastics that conduct electricity. *Scientific*

American, fevereiro de 1988, p. 106.

YAM, P. Plastics get wired. *Scientific American*, julho de 1995, p. 74.

Na internet

- sobre o Prêmio Nobel, consulte o Museu Nobel Eletrônico da Fundação Nobel: <http://www.nobel.se>

- sobre polímeros condutores em geral, consulte QMCWEB - Revista Eletrônica do Departamento de Química da UFSC, nº 14: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/exemplar14.html>

- sobre OLEDs – diodos orgânicos emis-

sos de luz, consulte o sítio da empresa COVION Organic Semiconductors GmbH, que contém um ótimo show de diapositivos (em PowerPoint) sobre polímeros emissores de luz: <http://www.covion.com>

- sobre transistores poliméricos, consulte o sítio da empresa Lucent Technologies: <http://www.lucent.com>

- sobre as pesquisas com o biomaterial usado na recuperação de nervos, consulte o sítio da Univ. do Texas em Austin: http://www.utexas.edu/admin/opa/news/00newsreleases/nr_200003/nr_nerve000329.html

Resenha

A Formação de Professores Pesquisadores

O professor Otavio Aloisio Maldaner publicou recentemente o livro *A Formação Inicial e Continuada de Professores de Química: Professores/Pesquisadores* como parte da coleção *Educação em Química* da Editora Unijuí. O livro apresenta e discute formas de como inserir professores e formadores de professores no debate sobre a melhora da qualidade do ensino e da formação em química. As análises e sugestões do autor recebem um tratamento especial pela exemplificação de uma parceria colaborativa construída e vivenciada junto a cinco professoras de química, no contexto de uma escola pública de ensino médio.

Maldaner discute a problemática da formação inicial de professores de química articuladamente a um imprescindível processo de educação continuada de professores, mostrando possibilidades de formação do professor de química reflexivo e pesquisador de sua própria prática. O livro mostra que a interação é mais produtiva quando são focalizadas as ações cotidianas dos professores, por eles analisadas e entendidas com base em teorias introduzidas com essa finalidade.

No processo de pesquisa descrito e analisado os professores começam a reconhecer suas crenças e a entender suas práticas, projetando ações mais concernentes com as suas necessidades formativas e com as necessidades educacionais de seus

estudantes. A complexidade da ação educativa pedagógica exige o contínuo desenvolvimento intelectual dos professores - condição de seu desenvolvimento profissional - o que se torna possível por meio de interações entre professores de escola e formadores de professores.

As mudanças na prática pedagógica não acontecem por imposição nem simplesmente porque se deseja. *Tornar-se reflexivo/pesquisador requer explicitar, desconstruir e reconstruir concepções, e isso demanda tempo e condições.* Não basta ao professor ter um compromisso social, detectar as deficiências de seu ensino e as necessidades de seus alunos. *É necessário buscar a integração dos conhecimentos teóricos com a ação prática, explicitar os saberes tácitos que a embasam, num contínuo processo de ação-reflexão-ação que precisa ser vivenciado e compartilhado com outros colegas.* A interação entre professores que atuam na formação inicial e os professores de escola com experiências diversas permite a *construção de outros olhares para a aula, para o ensino, e para as implicações sociais, econômicas e políticas que permeiam a prática educativa.*

É assim que encontramos o autor, como aquele colega mais experiente com quem se pode aprender o que mais caracteriza o pensamento reflexivo, isto é, a postura de questionamento e de problematização da própria prática pedagógica. *Afinal, são as perguntas que*

nos movem do nível descritivo ao nível interpretativo de nossas próprias ações.

Mudar e ensino de química escolar implica, essencialmente, em mudar a formação, as concepções e as práticas dos professores que nele atuam. O rico diálogo com o autor sobre a formação de professores reflexivos - pesquisadores de suas próprias práticas - representa uma possibilidade ímpar de contribuição para as almejadas transformações na educação em química.

(Lenir Basso Zanon - Unijuí)

A formação inicial e continuada de professores de química: professores/pesquisadores. Otavio Aloisio Maldaner. Ijuí: Editora Unijuí, 2000. 419 p. ISBN 85-7429-126-9.

