

# Arquitetos de moléculas

*Pesquisa que intervém na estrutura de blocos ínfimos de matéria produz compostos como um sensor para conservante de vinhos*

MARCOS PIVETTA

No século 21, o mundo da ciência vai ficar menor, segundo os que se dedicam à emergente área da nanotecnologia molecular. Os especialistas desse ramo das nanociências propõem-se a dominar a manipulação das moléculas e da menor partícula de matéria capaz de conservar as características químicas de um elemento – o átomo.

Esse é o propósito de Henrique Toma, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP). No projeto *Desenvolvimento de Supermoléculas e Dispositivos Moleculares*, financiado pela FAPESP, Toma se dedica a criar em laboratório sistemas estáveis em escala nanométrica, o que chama de supermoléculas. Um nanômetro é igual a  $10^{-9}$  metro, a bilionésima parte do metro ou a milionésima parte do milímetro – em suma, um espaço onde cabem no máximo dez átomos.

Na manipulação da maioria das supermoléculas a que se refere o projeto, o objetivo é reproduzir nelas alguma reação química presente na natureza ou no corpo humano, como a fotossíntese – em que a planta usa a luz para converter água, dióxido de carbono e minerais em oxigênio e em compostos ricos em energia – ou as decorrentes da ação de enzimas.

Em tese, o controle pleno da nanotecnologia molecular, um sonho

ainda longe de ser alcançado, permitiria ao homem rearranjar blocos ínfimos de matéria como bem entendesse. E, assim, refazer moléculas existentes ou criar novas. “Quase não há campo da atividade humana em que a nanotecnologia molecular não possa ser útil ao homem, desde a produção de alimentos até o tratamento de doenças”, diz Toma.

**Vinho equilibrado** - Um dos compostos que ele mais usa são as porfirinas, tipo de pigmento abundante na natureza e que atua em vários processos biológicos. No homem, por exemplo, porfirinas ricas em ferro estão presentes na hemoglobina e são responsáveis pelo transporte e o armazenamento de oxigênio nos tecidos vivos. São elas que dão o

tom vermelho ao sangue e aos músculos. E as plantas verdes se distinguem pela presença de uma substância derivada das porfirinas – a clorofila, essencial à fotossíntese.

A partir da combinação de dois tipos de porfirina, Toma e seu colega no Departamento de Química Fundamental do IQ-USP, Koiti Araki, produziram alguns compostos interessantes. Um deles foi uma supermolécula que se organiza espontaneamente, formando um filme fotoquímico (que reage à luz) ou catalítico (capaz de acelerar uma reação química). Outro composto forma um filme molecular que funciona como sensor de sulfito – uma descoberta que vale um brinde.

IMAGENS: INSTITUTE FOR MOLECULAR MANUFACTURING



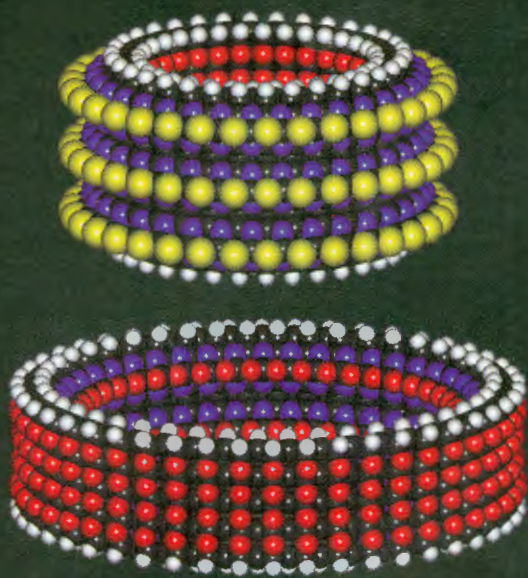
Modelos: manipulador de átomos...

## Admirável nanomundo novo

Muitas coisas mudarão se os cientistas e tecnólogos da nanociência conseguirem produzir seus engenhos. Não faltam exemplos teóricos. Nanocompostos ingeridos pelo ser humano cuidariam de manter o organismo saudável, desentupindo artérias e combatendo agentes infecciosos. Nanorrobôs produziram combustível a baixo custo, sem agredir o ambiente ou

consumir recursos dele. Nanotubos de carbono tomariam o lugar dos transistores e substituiriam o silício na fabricação de potentes nanochips. O invento supremo seria uma fábrica de estruturas moleculares – um montador de moléculas capaz de fabricar qualquer composto, até cópias de si mesmo.

Um delírio, segundo os cétricos. Muito pior, dizem os apocalípticos:



...e rolamentos de nanomáquinas

Araki e Toma:  
técnicas para  
reorganizar  
moléculas



EDUARDO CÉSAR

Explica-se: se explorado comercialmente, esse sensor pode ser muito útil para produtores de vinho. As vinícolas usam como conservante o sulfito – um antioxidante, substância capaz de retirar o ar da bebida. Para evitar danos à saúde, contudo, a quantidade de sulfito deve ser monitorada constantemente.

No protótipo desenvolvido em colaboração com Lúcio Angnes, do IQ-USP, o filme de porfirina criado para servir de sensor reveste um tubinho ligado a um eletrodo. Quando o vinho entra em contato com o sensor ao escorrer pelo tubo, o eletrodo acusa uma corrente elétrica, por meio da qual, indiretamente, se

consegue saber qual a quantidade de sulfito na bebida – quanto mais sulfito, maior a corrente elétrica.

Toma cita duas vantagens do sensor de sulfito desenvolvido na USP em relação aos equipamentos usuais: custo baixo e medição imediata. “Em 30 segundos, sai o resultado. Os métodos tradicionais demoram até 40 minutos”, diz Toma. Além disso, a medição é feita em poucos mililitros da bebida, o que evita o desperdício.

**Equipamentos simples** - Nem sempre é preciso recorrer a equipamentos de última geração para produzir supermoléculas. Para criar algumas de suas supermoléculas de porfirina – material de consumo encontrado em qualquer laboratório – Toma e Koiti só usaram, além dos reagentes, lâminas de vidro e três recipientes com soluções. E seguiram um método igualmente trivial de construção de compostos, o da imersão.

De modo geral, seu procedimento no método da imersão poderia ser resumido assim. Toma separou três recipientes e encheu o primeiro com uma solução de porfirina com carga elétrica positiva (na verdade, uma molécula de porfirina ligada a quatro moléculas de

rutênio – um metal raro usado para endurecer ligas de platina e paládio). No segundo, derramou um preparado de porfirina com carga negativa (uma porfirina com mais quatro grupos sulfona). E o terceiro recebeu água. O passo seguinte foi pegar uma lâmina de vidro e a mergulhar, nesta ordem, nos recipientes um, dois e três.

Resultado: sobre a lâmina, formou-se um filme com duas camadas, a primeira de porfirina positiva e a segunda de porfirina negativa (a água serve só para retirar o excesso desses dois compostos). A imersão pode ser repetida várias vezes, ampliando a espessura do filme resultante – que é um exemplo da química da supermolécula.

Como se vê numa representação estrutural da nova montagem da supermolécula, as duas porfirinas originais não se misturam. Os átomos da solução negativa se encaixam sobre os da solução positiva, formando nova arquitetura molecular – um composto com propriedades totalmente diferentes das substâncias que o originaram. “A criação desse composto é fruto de um processo de engenharia molecular. A supermolécula não ocorreu por acaso. Ela foi planejada”, afirma Koiti Araki.

se dominar por completo a manipulação dos átomos, o homem poderá provocar a destruição da própria espécie e até do planeta. Na verdade, o domínio pleno do universo das moléculas ainda está longe. A Zyvex, uma das novas companhias do ramo na Califórnia, calcula que em cinco ou dez anos terá alguma invenção no mercado, mas não sabe o quê. Afinal, argumenta, em 2005 ou 2010 as pessoas terão necessidades diferentes das atuais.

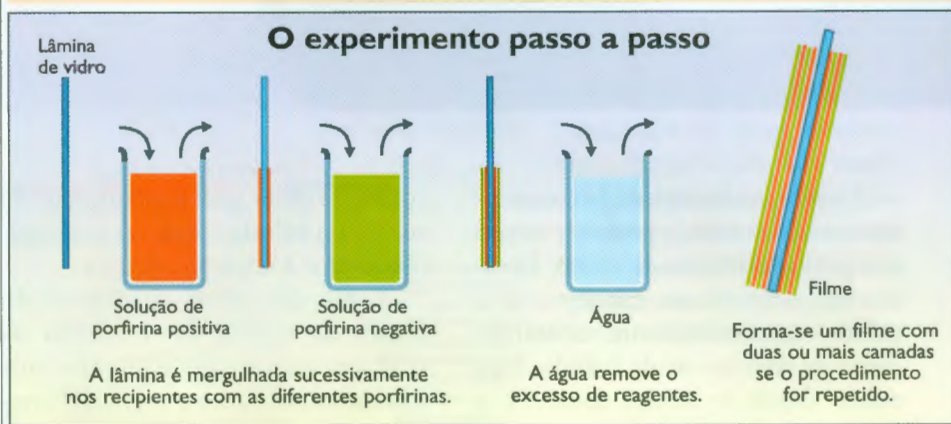
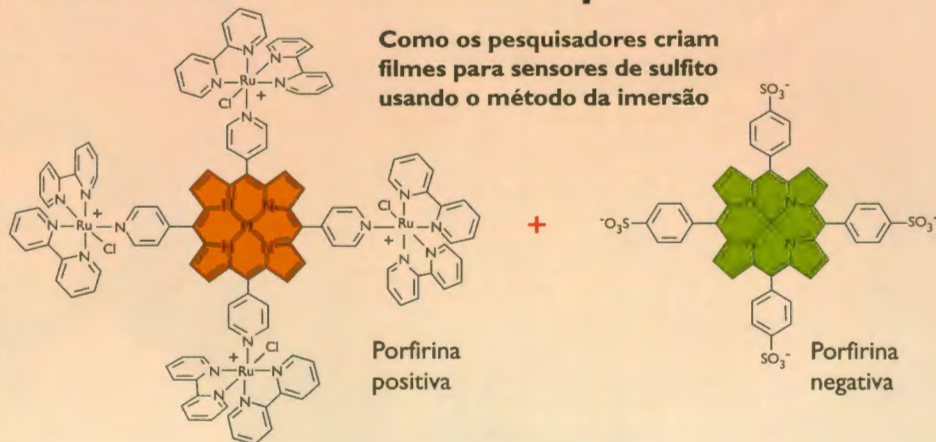
Esse procedimento singelo esconde um raciocínio complicado de arquitetura molecular. Antes do experimento, é preciso saber como se rearranjarão estruturalmente os átomos e as moléculas ao final da reação e se o rearranjo será permanente ou passageiro.

É algo muito mais sutil e complexo do que imaginar que o resultado de uma reação será só a soma dos átomos envolvidos no experimento. A estrutura da supermolécula, a forma como seus átomos se entrelaçam e criam a teia físico-química que lhe dá origem, é tão ou mais importante do que sua fórmula química.

**Diamante e grafite** - Comparar diamante e grafite é um bom exemplo. Ambos são minerais formados unicamente por átomos de carbono, só que estruturados de forma totalmente diferente. O grafite se estrutura em camadas de anéis de seis átomos, arranjados em lâminas horizontais distantes entre si. No diamante, cada átomo se liga a quatro outros equidistantes, numa arquitetura fechada, densa e resistente, em forma de cristal tetraédrico ou octaédrico.

É justamente essa arquitetura interna distinta que torna o diamante um material transparente e com dureza sem igual na natureza, enquanto o grafite é escuro, macio e quebradiço. Se um dia os nanotecnólogos tiverem pleno domínio das moléculas, poderão reorganizar os átomos do grafite e transformá-lo em diamante.

## O nascimento de uma supermolécula



Há mais de um século, o homem tira algum proveito do mundo nano: a indústria de pneus, por exemplo, usa nanopartículas de carbono para reforçar a borracha de seu produto. “O mundo nano está aí. A gente é que ainda não se deu conta disso”, diz Elson Longo, pesquisador do Departamento de Química

da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

As bases da noção moderna de nanotecnologia molecular, no entanto, são mais recentes. No fim de 1959, na reunião anual da Sociedade Americana de Física, Richard P. Feynman fez um discurso provocador que entraria para a história

## Brasil convoca interessados

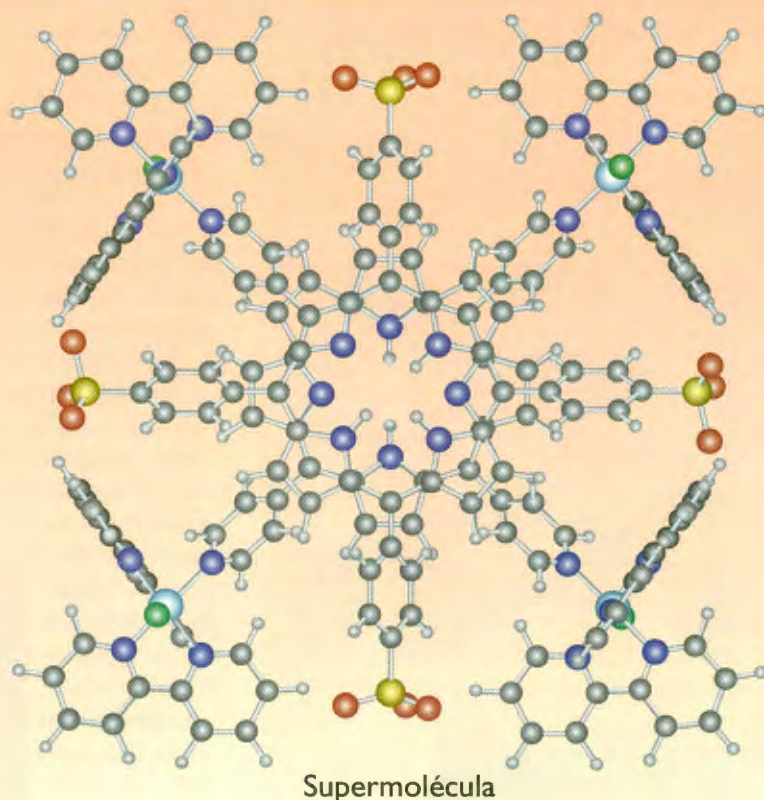
A julgar pelos investimentos que os países desenvolvidos começam a fazer na área, a ciência do pequeno já se tornou um campo de pesquisas bilionário. Em outubro último, o Congresso dos Estados Unidos aprovou uma verba anual de quase US\$ 500 milhões que o governo requisitara para lançar seu Programa Nacional de Nanotecnologia. Em 2001, só o Japão pretende gastar US\$ 400

milhões em nanociência, 41% a mais que em 2000. Os europeus mantêm iniciativas isoladas e conjuntas, também impulsionados por grandes investimentos. E o Brasil?

Até agora, há iniciativas isoladas em São Paulo e outros Estados, com trabalhos que poderiam ser abrigados numa ampla iniciativa nacional. O país ainda não tem um programa nacional de nanociên-

cias, mas parece que é por pouco tempo.

Em 22 de novembro último, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) convocou uma reunião em Brasília com interessados em participar de um possível programa nacional de nanotecnologia. Compareceram 32 pesquisadores. No final do encontro, formou-se uma comissão, que está colhendo sugestões para o programa, que se-



● RUTÊNIO ● CLORO ● NITROGÊNIO ● ENXOFRE ● OXIGÊNIO ● CARBONO ● HIDROGÊNIO

Fonte: Henrique Toma e Koji Araki, IQ-USP

## O PROJETO

Desenvolvimento de Supermoléculas e Dispositivos Moleculares

### MODALIDADE

Projeto temático

### COORDENADOR

HENRIQUE TOMA - Instituto de Química da USP

### INVESTIMENTO

R\$ 104.000,00 e US\$ 186.000,00

**Prêmio para menores** - Leva para casa o Grande Prêmio Feynman – e US\$ 250 mil – o pesquisador ou grupo que primeiro desenhar e construir dois dispositivos: um braço robótico que se acople a um cubo de máximo 100 nanômetros de dimensão e seja capaz de manipular átomos e moléculas em estruturas maiores, e uma espécie de computador que se encaixe num cubo de até 50 nanômetros e desempenhe as mesmas funções de uma calculadora de 8 bits. O desafio foi lançado em 1996 e continua válido. Admite-se que o Foresight eleve o prêmio para US\$ 1 milhão se receber doações suficientes.

Ainda longe de produzir uma engenhoca revolucionária como as pedidas, Toma ostenta um reconhecimento: em 1996, ganhou o prêmio de Química da Academia de Ciências do Terceiro Mundo, sediada na Itália, pelos estudos no desenvolvimento de supermoléculas baseadas em complexos polimetálicos.

Para avançar mais, Toma pretende pôr em seu laboratório um item básico do nanomundo: um microscópio de força atômica e tunelamento. Essas duas técnicas de microscopia permitem visualizar e intervir em cada átomo de uma molécula, ainda que de forma precária. Se os adeptos da nanotecnologia molecular fossem astrônomos, segundo Toma, o microscópio de tunelamento e força atômica seria seu telescópio mais potente.

como o pontapé inicial. “Por que não podemos escrever todos os 24 volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete?”, foi uma de suas frases mais instigantes.

Desde então, se busca, mais do que usar possíveis propriedades benéficas de nanopartículas, atuar no nível nano: manipular átomos.

Construir, reconstruir, aprimorar e inventar moléculas.

Por hora, a nova ciência vive de muitas promessas e modestos resultados práticos. Para acelerar o ritmo, o Instituto Foresight de Palo Alto, Califórnia, recorreu ao antigo e eficiente jeito de estimular a inventividade: um bom prêmio em dinheiro.

ria lançado no segundo semestre de 2001.

O amplo mundo das nanociências foi dividido em três grupos temáticos, como no programa americano: 1) nanodispositivos, nanosensores, nanoeletrônica (semicondutores, materiais magnéticos, nanotubos, optoeletrônica, fotônica); 2) materiais nanoestruturados; 3) nanobiotecnologia/nanoquímica. “Estamos tentando detectar as áreas carentes da ciência nacional. Sabemos que

nanotecnologia é um setor emergente e muito importante. Com esse encontro, pudemos sentir o interesse da comunidade científica. Agora queremos mapear em detalhes quem já está fazendo o que nesse campo para, depois, formular possivelmente um programa nacional”, diz Celso Pinto de Melo, diretor de políticas horizontais e instrumentais do CNPq. O endereço eletrônico da comissão, nano@cnpq.br, está recebendo emails de interessados.