

O real tamanho do mundo nano

Alardeada em suas origens como uma nova revolução industrial, a nanotecnologia passa por momento de revisão de seu potencial e de redução das expectativas, ao mesmo tempo em que cresce a preocupação com seus impactos à saúde e ao ambiente

Luciana Christante
lchristante@reitoria.unesp.br

Nos últimos 20 anos, a nanotecnologia conquistou um lugar de vanguarda na ciência – esse posto avançado de onde se vislumbram as fronteiras do conhecimento e que naturalmente irradia tanto fascínio quanto expectativa. Ao conseguir ver como a matéria se organiza em escala molecular e atômica, deparamo-nos com paisagens inusitadas, como as que ilustram esta reportagem. Mais importante que ver, porém, é manipular o novo mundo que se mede em nanômetros (as bilionésimas partes do metro) para tirar proveito dele.

Esses avanços costumam ser ostensivamente descritos como o germe de uma nova revolução industrial, com potencial de trazer benefícios ilimitados para a sociedade, dos tecidos que não mancham à cura do câncer por drogas inteligentes, passando por transformações radicais no campo eletrônico e energético. Tal discurso, entretanto, aparenta sinais de exaustão.

Se de um lado várias aplicações nanotecnológicas já podem ser compradas, de outro, suas vantagens ainda estão muito aquém das que foram alardeadas, o que vem abrindo uma lacuna na qual se acumulam questionamentos.

Dentro da comunidade científica surgem perguntas como: As inovações nanotecnológicas (veja quadro nas pág. 24 e 25) são mesmo revolucionárias ou somente o aperfeiçoamento de tecnologias já existentes? Quantas aplicações desse tipo estão de fato no mercado? Os nanomateriais não poderiam trazer riscos à saúde humana? E ao ambiente? Se houver riscos, a sociedade não deveria ser informada? O discurso eufórico sobre o potencial dessa área não estaria impregnado de elementos típicos das narrativas de ficção científica?

Todas essas dúvidas encaminham a nanotecnologia para a berlinda, onde, sem desqualificar os méritos científicos que lhe correspondem, seus futuros passos tendem

a ser reavaliados daqui para a frente. E as questões mais prioritárias estão relacionadas à sustentabilidade. A problemática foi resumida no editorial da revista *Nature Nanotechnology* de junho deste ano, em edição dedicada a uma subdivisão emergente desta ciência – a nanotoxicologia:

“Peixes, vermes, roedores, algas, bactérias e células. Nanotubos de carbono, óxidos metálicos e pontos quânticos. Escolha um modelo animal da primeira lista e um nanomaterial da segunda, e haverá chances de você encontrar dois ou mais estudos toxicológicos com resultados ligeiramente diferentes sobre o impacto dos últimos sobre os primeiros. Vinte anos de pesquisas confirmam que os nanomateriais podem apresentar toxicidade incomum e inesperada, mas o quanto nós aprendemos sobre as interações desses materiais com humanos, animais e o ambiente?”. A conclusão dos editores é: a nanotoxicologia mal engatinha.

As 'nanoartes' que ilustram esta reportagem foram desenvolvidas no INCT de nanotecnologia em Araraquara. Esta, apelidada de 'Espirais', foi feita com hematita

Imagens: Ricardo Trancullini e Romivaldo Camargo

Coincidência ou não, duas iniciativas americanas e outras duas brasileiras, todas muito recentes, mostram que os impactos das aplicações nanotecnológicas estão entrando na pauta governamental.

No início de julho passado, a Anvisa promoveu uma reunião interna em Brasília para debater pela primeira vez o assunto, com a participação de alguns pesquisadores. Na mesma semana, a Fundacentro, órgão do Ministério do Trabalho e Emprego que faz pesquisas na área de saúde ocupacional e é colaborador da Organização Mundial de Saúde, organizou um evento em São Paulo para lançar o livro de história em quadrinhos *Nanotecnologia: maravilhas e incertezas no universo da química*, dirigido a trabalhadores desse setor industrial.

Poucas semanas antes, nos Estados Unidos, o FDA (agência federal que regula alimentos e medicamentos) publicou em seu site uma consulta pública convidando representantes de indústrias para discutir formas de regular produtos nanotecnológicos. E a Casa Branca, que coordena o programa de pesquisa e desenvolvimento *National Nanotechnology Initiative* (que consumiu mais de US\$ 12 bilhões desde 2000), definiu os princípios norteadores dos processos de regulação e supervisão de aplicações que envolvam nanomateriais. No documento, a “proteção da saúde pública e do ambiente” aparece antes da “promoção do crescimento econômico, da inovação, da competitividade e da geração de emprego”.

No Brasil, o tema preocupa em especial os cientistas que usam a nanotecnologia aplicada à saúde, área em que pesar riscos e benefícios é bem mais comum que em outros ramos do conhecimento. É o caso de Anselmo Gomes de Oliveira, da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Unesp em Araraquara, que trabalha no desenvolvimento de medicamentos inteligentes, os chamados nanofármacos. A estratégia é entregar o princípio ativo de forma gradual e seletiva nos tecidos doentes, sem afetar o funcionamento dos saudáveis.

Para isso Oliveira constrói nanocápsulas, nas quais uma pequeníssima quantidade da droga é revestida por um polímero, formando uma partícula de dimensões

nanométricas – uma nanopartícula. Seu objetivo é tratar doenças oculares. Embora siga os procedimentos clássicos para avaliar a toxicidade do produto, o pesquisador admite que isso talvez não seja o suficiente para identificar possíveis danos decorrentes especificamente da nova tecnologia empregada. “A preocupação é com o tamanho da partícula”, diz. “Não sabemos se isso pode causar algum problema. Faz falta uma regulamentação nessa área.”

Novas propriedades

O diâmetro de uma nanopartícula pode variar entre 1 e 100 nanômetros – por definição, esta é a escala em que a nanotecnologia opera. Com esse tamanho, em tese, uma partícula pode atravessar qualquer barreira biológica. Além disso, ela exhibe propriedades físicas e químicas diferentes das de uma partícula maior, de idêntica composição. Isso acontece por duas razões.

Primeiro, porque as leis da Física Clássica, que regem o mundo micro e macroscópico, dão lugar às da Mecânica Quântica, que explicam os fenômenos próximos ou abaixo da escala atômica – aqui, por exemplo, a gravidade não conta, e o comportamento dos elétrons é de extrema importância. Segundo, e talvez mais relevante, porque uma determinada quantidade de material granulado ao nível de nanopartículas expõe uma superfície de contato muito maior que igual quantidade do mesmo material em partículas maiores. O resultado é uma brutal potencialização de certas propriedades, que muitas vezes nem eram notadas antes.

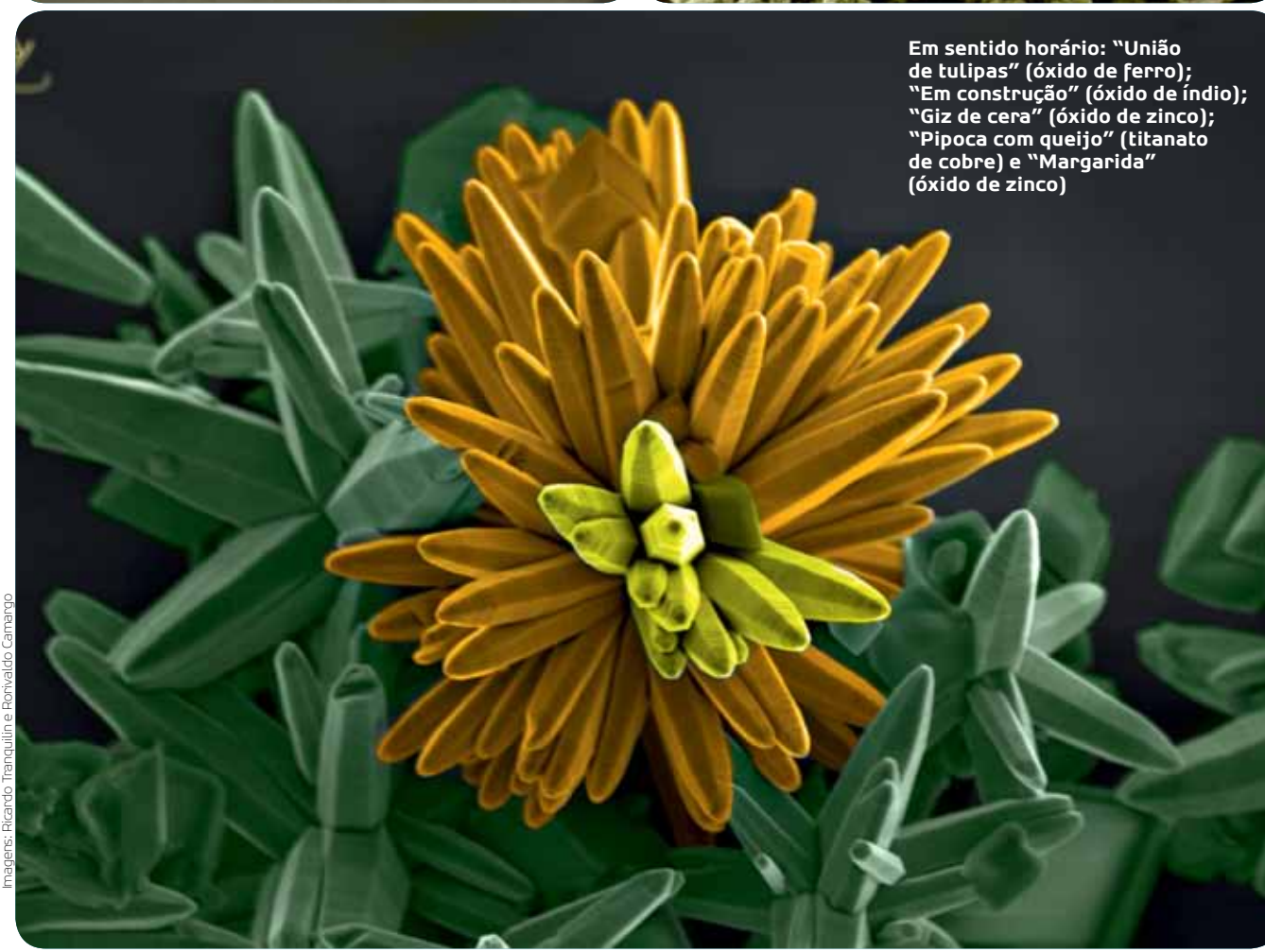
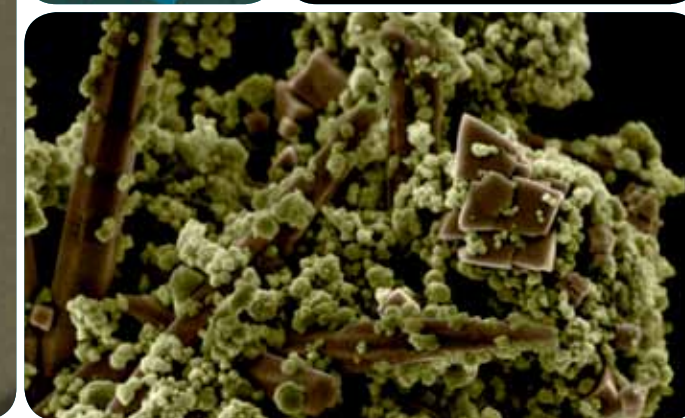
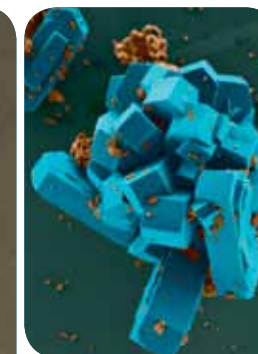
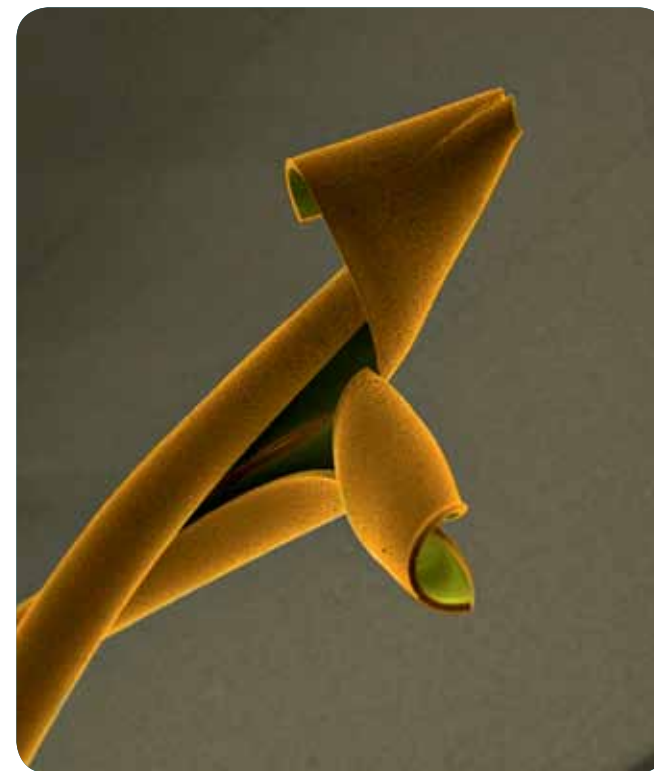
Potentes bactericidas, nanopartículas de prata vêm sendo usadas em filtros de água, aspiradores de pó e secadores de cabelo. “Temos de começar a pensar no ciclo de vida desses produtos”, diz William Waissmann, da Escola Nacional de Saúde Pública

É sobre esse aspecto, observado em particular sobre as nanopartículas metálicas, que recai a grande preocupação das agências regulatórias. Um caso exemplar dessa situação é o dos filtros solares. Nos produtos tradicionais, o efeito que protege a pele dos raios ultravioleta se deve à presença de partículas microscópicas de óxidos de titânio e de zinco, que fazem parte da composição dos produtos que estão no mercado. Até aí nenhum problema.

A novidade é que algumas empresas vêm usando nanopartículas, de igual composição, para obter maior eficácia com uma quantidade menor do material. Pela legislação atual, elas não precisam informar as agências regulatórias sobre a mudança, já que a fórmula química do produto é a mesma. Porém, alguns estudos sugerem que essas nanopartículas, diferentemente das de dimensão micro, são facilmente absorvidas pela pele, ativando o sistema imunológico sem que se conheçam ainda as consequências do uso prolongado do produto. Há evidências também de que o material não absorvido e levado pela água do banho tem impacto negativo sobre bactérias de ecossistemas aquáticos.

Aparentemente, nanopartículas de prata podem ter trajeto e efeitos semelhantes. Potentes bactericidas, elas começam a ser empregadas na fabricação de azulejos de uso hospitalar, filtros de água, aspiradores de pó e até de secadores de cabelo. “Temos de começar a pensar no ciclo de vida desses produtos”, afirma William Waissmann, da Escola Nacional de Saúde Pública (Ensp), no Rio, um dos raros especialistas em nanotoxicologia no país. “É preciso compreender que uma mesma coisa, mas em escala nano, pode ser muito diferente.”

Um dos convidados da reunião promovida pela Anvisa, Waissmann está bem inteirado da discussão nos Estados Unidos porque participa anualmente das reuniões da Sociedade Americana de Toxicologia, na qual há uma seção especial dedicada à temática nano. Segundo ele, não se trata de negar os avanços científicos, que podem trazer de fato uma série de benefícios em várias áreas, mas de tentar aplicar algumas lições do século 20.



Em sentido horário: “União de tulipas” (óxido de ferro); “Em construção” (óxido de índio); “Giz de cera” (óxido de zinco); “Pipoca com queijo” (titanato de cobre) e “Margarida” (óxido de zinco)

Imagens: Ricardo Tranquilin e Rivaldo Camargo

“A química sintética e a combustão do carbono deram origem a muitas coisas boas, mas também a diversos problemas de sustentabilidade que vemos hoje”, explica Weissmann. Ele compara ainda o chumbo e o benzeno, que apesar da alta toxicidade demoraram anos para ter seu uso regulado, com os nanotubos de carbono, que prometem uma revolução na informática, mas contra os quais já pesam fortes evidências de que seu comportamento seja parecido com o do asbesto, que também sofre restrições.

Entre os principais desafios para regulamentar as aplicações nanotecnológicas, Weissmann destaca a necessidade de agir de forma antecipatória. “Em vez de bater o martelo para aprovar ou rejeitar o que já existe, temos que fazer com que a sustentabilidade faça parte do projeto de desenvolvimento dos produtos.” Segundo ele, isso significa criar métodos e protocolos específicos para avaliar a toxicidade dos nanomateriais, sempre com a preocupação de não tornar excessivamente moroso o processo de inovação. “Será preciso investir pesadamente em modelagem computacional”, aponta.

Investimento desigual

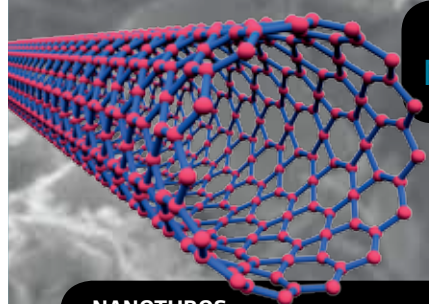
Mas, antes de tudo, defende, é preciso aumentar o investimento em pesquisas que avaliem os impactos sanitários e ambientais. Mesmo nos Estados Unidos, onde a discussão está mais avançada, essa área recebe 40 vezes menos recursos que a dedicada ao desenvolvimento de aplicações. No Brasil, essa conta nunca foi feita, segundo o pesquisador.

Outra conta importante será feita depois que as aplicações nanotecnológicas passarem a ser reguladas de alguma forma. Afinal, quantas delas já fazem parte de nosso cotidiano? O dado mais recente é de 2009 e aponta para a existência de pouco mais de mil produtos de consumo nos quais há algum nanomaterial – na maioria, nanopartículas de prata. Três anos antes eram cerca de 200. Reconhecidamente subestimado, o cálculo é do Projeto sobre Nanotecnologias Emergentes, iniciativa americana do Woodrow Wilson International Center for Scholars.

Uma grande nanofamília

Os nanomateriais são muito diversificados e obtidos por vários métodos. Neste quadro, as categorias em que eles podem se encaixar, com alguns exemplos em fase de pesquisa ou comercialização; e alertas de toxicidade, quando for o caso

- Pesquisa
- Mercado
- Riscos



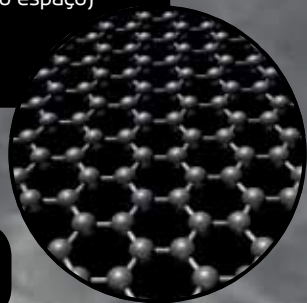
Nanoestruturas de carbono

GRAFENO

Principal candidato para substituir o silício nos chips eletrônicos. Prêmio Nobel de Física de 2010

além de aplicações eletrônicas, sensores ultrasensíveis e ultracapacitores (para armazenar muita energia em pouco espaço)

nada por enquanto



NANOTUBOS

Enorme resistência mecânica, excelente condutividade térmica, razoável condutividade elétrica

ciências dos materiais, ótica, engenharia elétrica e eletrônica

Raquetes de tênis, bicicletas, navios, turbinas eólicas etc.

possível efeito cancerígeno, semelhante ao do asbesto

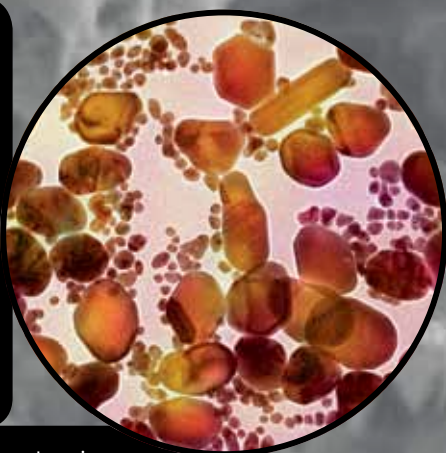
Nanopartículas

Respondem pela grande maioria das aplicações no mercado. As mais comuns: prata, titânio, zinco e ouro

inúmeras aplicações em desenvolvimento tanto em universidades quanto em indústrias

protetores solares, cosméticos, filtros, tintas, plásticos e diversos materiais de emprego industrial

nanopartículas de prata, zinco e titânico poderiam causar dano à saúde e/ou a ambientes aquáticos

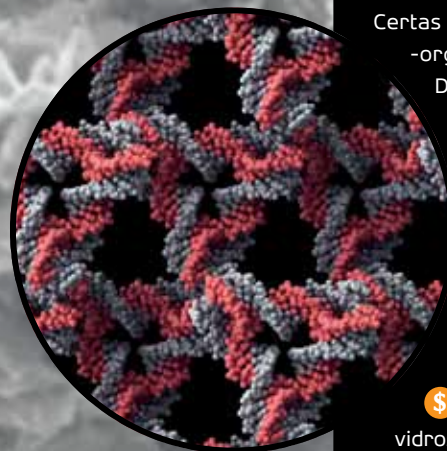


Autoarranjos

Certas moléculas são capazes de se auto-organizar tridimensionalmente (ex. DNA). Assim, é possível manipular sua estrutura básica para o formato final desejado, do qual resulta uma propriedade de interesse

computadores de DNA; o mais avançado até agora levou dez horas para calcular a raiz quadrada de qualquer número até 15

Superfícies nanoestruturadas, como vidros que não sujam, tecidos que não mancham ou não molham (autolimpantes)



Miniaturas

Usando a técnica de nanolitografia, um bloco de nanomaterial é esculpido até dar origem a um artefato funcional, além de “frescurinhas”, como este nanorretrato de Barack Obama

pontos quânticos (nanocristais com propriedades óticas únicas) são cortejados na medicina diagnóstica

circuitos integrados são gravados nessa escala nos chips eletrônicos mais modernos

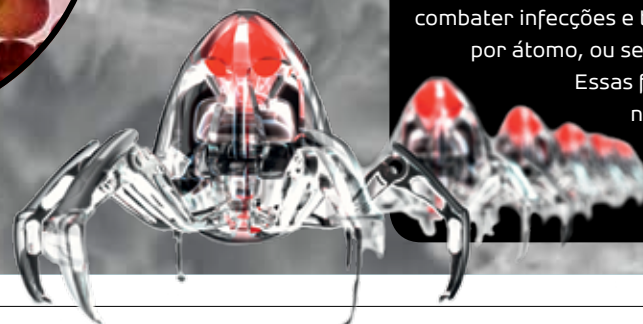
dependendo da composição, pontos quânticos podem ser tóxicos para células



Nanomáquinas

Robôs minúsculos que viajam pelo corpo humano para combater infecções e tumores, sintetizar moléculas, átomo por átomo, ou se autorreplicar conforme a necessidade.

Essas figuras fazem parte do ideário da nanotecnologia em seus primórdios, nos anos 1980, mas hoje nem sequer são tema de pesquisa. Não passam de ficção científica



Outra questão que vem sendo debatida é o real caráter inovador e revolucionário dessa nova ciência.

O conceito de medicamentos inteligentes, por exemplo, apontado como uma das grandes inovações nanotecnológicas, na verdade é perseguido há muitas décadas pelas ciências farmacêuticas, lembra Anselmo Gomes de Oliveira, de Araraquara. Para ele, sem dúvida a manipulação em escala nano torna mais fácil alcançar esse objetivo, “mas não deve levar a uma revolução na medicina”, analisa. “Vejo um grande auxílio em certas áreas, principalmente no tratamento do câncer e de micoses sistêmicas [que são raras, porém difíceis de tratar]. Acho que há um pouco de alarde”, diz.

Opinião semelhante tem Celso Valentim Santilli, que também se vale de materiais nanoestruturados para criar fármacos inteligentes, na Unesp em Araraquara. Mais cético, ele usa com parcimônia o termo nanotecnologia para descrever suas pesquisas. “Prefiro dizer que faço ciência dos materiais. Porque acho que um dia essa ‘moda nano’ vai passar. E aí? Vou continuar fazendo ciência dos materiais.”

Não será a nanotecnologia apenas uma embalagem nova para algo que já existia? De certa forma, sim, avalia Elson Longo, também da Unesp em Araraquara, coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) dos Materiais em Nanotecnologia, que reúne mais nove instituições de pesquisa.

“Os vitrais que passaram a adornar as igrejas na Idade Média são coloridos por causa de nanopartículas metálicas”, conta. Ainda que não levassem esse nome, as nanopartículas aparecem em vários momentos da história da Química, o que de alguma forma ajudou a chegarmos ao atual estado da arte, explica.

O grande salto, porém, foi o desenvolvimento da microscopia eletrônica, que permitiu enxergar a escala nanométrica a partir dos anos 1980 (veja quadro sobre história na pág. 26). É um dos principais marcos da nanotecnologia. Mas, segundo Longo, não se trata de uma ruptura de paradigma, e sim de uma evolução. “Dar um nome novo para o que no fun-

do é uma continuidade é uma forma de atrair atenção e recursos”, diz. “Isso não é incomum na história da ciência.”

“Nanohype”

“Ninguém vai dar ouvidos a alguma coisa nova que é apenas levemente melhor que a antiga”, provoca David Berube, especialista em estudos da comunicação na Universidade do Estado da Carolina do Norte (EUA). Em 2005, ele publicou o livro *NanoHype – The truth behind the nanotechnology buzz* (em tradução livre: Nanomoda – a verdade por trás do barulho da nanotecnologia), no qual apresenta resultados de suas pesquisas, financiadas pela National Science Foundation.

Em entrevista por e-mail, Berube resume os motivos da “retórica hiperbólica”, observada no discurso de diversos atores da área: “Burocratas buscam apoio para seus projetos. Indústrias, principalmente as novas, querem investidores. Organizações não governamentais dependem de visibilidade. Pesquisadores precisam de recursos públicos. A nanotecnologia foi uma forma de obter fundos em grande escala para todos eles”.

Mas os grandes amplificadores do “nanohype”, prossegue o pesquisador, têm sido os veículos de comunicação, principalmente os eletrônicos. “Quando a mídia digital se consolidou como fonte de informação de massa, as narrativas fantasiosas atingiram o ápice. A internet está repleta de informações imprecisas e exageradas sobre nanotecnologia”, critica.

Tanta desinformação sobre o tema motivou Peter Schulz, do Instituto de Física da Unicamp, a escrever o livro *Encruzilhadas da nanotecnologia – Inovação, tecnologia e riscos* (Vieira&Lent, 2009).

Pesquisador do grafeno, nanomaterial com potenciais aplicações nas áreas eletrônica e energética, Schulz lembra que “os exageros contam muitas vezes com a cumplicidade dos pesquisadores” e chama a atenção para “a proximidade da linguagem de certos textos técnicos com a ficção científica”.

Um dos curadores da exposição “Nanoaventura”, no acervo permanente do Museu Exploratório de Ciências da Unicamp desde 2005, o físico engajou-se na divulgação da ciência nos últimos dez anos.

Os cientistas falham, analisa ele, em

seu diálogo interno e com o público quando vendem a nanotecnologia como uma grande novidade que vai resolver todos os nossos problemas. “Acho digno de mérito reconhecer que ideias dispersas na história da ciência vão se juntando e amadurecendo, até formar uma unidade e dar origem a algo realmente novo.”

Apesar de não esperar dos nanomateriais uma revolução tal como foi a da microeletrônica no século 20, Schulz acredita que eles podem, sim, facilitar revoluções, por exemplo, no campo das interfaces cérebro-máquina, no qual nanossensores têm sido de grande utilidade para os pesquisadores. Se há algo verdadeiramente inovador na nanociência, aponta, é sua essência intrinsecamente interdisciplinar, pois, mais do que qualquer área, ela depende da efetiva interação entre química, física e biologia.

Mas essa interdisciplinaridade ainda não é completa, pelo menos quando o que está em questão é o impacto social e ambiental da nanotecnologia. É o que pensa Paulo Martins, pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, em São Paulo, e coordenador da Rede de Pesquisa



Imagens: Ricardo Tranquilin e Bonivaldo Camargo

“Caixa com novos” (óxido de cobre)

Revisão de paternidade

Nem o americano Richard Feynman (1918-1988), Nobel de Física em 1965, escapou ileso à revisão histórica pela qual passa a nanotecnologia. Sua palestra “There’s plenty of room at the bottom” (Há muito espaço lá embaixo), de 1959, é largamente difundida como o evento fundador desta ciência. Feynman teorizava sobre a possibilidade de manipular a matéria em nível molecular e atômico. Palavras visionárias, sem dúvida, mas nada além disso, segundo o antropólogo Chris Tourney, da Universidade da Carolina do Sul (EUA).

Tourney é autor de um estudo sobre a “paternidade” da nanotecnologia publicado em 2005 na revista *Engineering & Science* – a mesma em que a palestra do físico americano foi publicada como artigo em 1960. O antropólogo consultou grandes expoentes da nanociência para saber se Feynman os havia influenciado. Só encontrou negativas. Em compensação, colheu outros nomes, como os de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, premiados com o Nobel de Física em 1986 pela invenção do microscópio de tunelamento eletrônico, o primeiro com resolução na escala nanométrica.

As ideias de Feynman ficaram no limbo por mais de 20 anos, demonstra Tourney. E começaram a renascer nos anos 1980 por causa de Eric Drexler, então um jovem prodígio do MIT que espertamente resgatou, de um lado, a palavra “nanotecnologia”, cunhada por um autor japonês em artigo de 1974; e de outro, a inspirada palestra de Feynman. Ambas entraram em seu livro *Engines of creation* (Máquinas da criação), de 1986, um fantasioso ensaio sobre a possibilidade de construir máquinas moleculares, que conquistou muitos fãs do gênero ficção científica, dentro e fora da academia. Mas também gerou temor, ao cogitar que elas poderiam se autorreplicar sem controle, formando a chamada “meleca cinzenta” (*gray goo*).

O termo “nanotecnologia” foi popularizado por Drexler, que até por volta dos 2000 era fonte garantida em qualquer reportagem sobre o tema. Mas por nunca ter conseguido tirar seus robôs moleculares do papel, nem sequer provar sua viabilidade teórica, hoje ele amarga um longo ostracismo. Saiba mais sobre essa história, inclusive sobre como a “meleca cinzenta” atemorizou o Congresso americano em 2000, no nosso blog: <http://bit.ly/pqrvPx>.

em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma). “Falta a participação das ciências sociais no debate”, queixa-se.

Sociólogo, Martins se considera um representante do que vem sendo chamado “nanoativismo”, movimento já com alguma expressão na Europa. Ele fundou a Renanosoma em 2004 como um fórum independente com a missão de “promover o engajamento público visando informar e discutir a nanotecnologia com o público não-especialista”.

Há dois anos, ele mantém o programa semanal de entrevistas *Nanotecnologia do Avesso* no site “allTV” (www.alltv.com.br), pelo qual já passaram mais de uma centena de representantes da comunidade científica, da indústria, de ONGs e de governo, vários deles de outros países.

A principal crítica de Martins é dirigida a agências de fomento e à forma como as verbas de pesquisa nessa área são distribuídas. “A sociedade contribui com o dinheiro e um pequeno grupo decide o que fazer com ele”, diz.

Além de investir mais em pesquisas sobre impactos sanitários e ambientais, ele advoga ainda que temas de interesse nacional, como doenças negligenciadas e biodiversidade, deveriam estar mais

presentes nos programas atuais de fomento à nanotecnologia. “Se você analisar a distribuição dos recursos do CNPq nessa área, por exemplo, verá que estamos pautados pela agenda do Primeiro Mundo.”

Opinião pública

A discussão sobre os rumos da nanotecnologia está só começando, ainda está muito longe de atingir as massas, mas já atraiu a atenção de alguns cientistas interessados na percepção popular sobre o tema.

Uma das pesquisas mais recentes na área diz respeito a brasileiros e britânicos. Julia Guivant, da Universidade Federal de Santa Catarina, e Phil Macnaghten,

da Universidade Durham (Reino Unido), compararam as interpretações dos cidadãos de cada país em relação à chegada das inovações nanotecnológicas, em artigo publicado em 2010 na revista *Public Understanding of Science*. Os resultados são radicalmente opostos.

Os britânicos demonstraram uma desconfiança, muitas vezes de tonalidade trágica, sem valorizar os potenciais benefícios, ao passo que os brasileiros exibiram uma crença entusiasmada nos progressos “inevitáveis” dessa ciência, desprezando seus possíveis riscos. Nos Estados Unidos é diferente. Sondagens semelhantes indicaram que a maior preocupação dos americanos é com os postos de trabalho que a nanotecnologia pode subtrair.

Em comum entre esses estudos está o amplo desconhecimento da população sobre a natureza e as reais aplicações da nanotecnologia. A desinformação pode estar globalizada, mas como a percepção pública da ciência e da tecnologia varia conforme a cultura, os países que resolverem prestar contas dos seus investimentos e incluir os contribuintes no debate sobre os impactos na sociedade e no ambiente terão de fazê-lo cada um a sua maneira.

Estudo mostra que os britânicos desconfiam da nanotecnologia de forma até trágica, sem valorizar seus potenciais benefícios, ao passo que os brasileiros exibem crença entusiasmada nos progressos “inevitáveis” dessa ciência, desprezando seus possíveis riscos