

UM PANORAMA DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL (E SEUS MACRO-DESAFIOS)

Maria Fernanda Marques Fernandes[#] e Carlos A. L. Filgueiras*

Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CP 68563, 21945-970 Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Recebido em 17/10/07; aceito em 20/6/08; publicado na web em 31/10/08

AN OVERVIEW OF NANOTECHNOLOGY IN BRAZIL (AND ITS MACRO-CHALLENGES). The objectives of this essay are to describe the development of nanoscience and nanotechnology (N&N) in Brazil. The analysis shows that Brazilian research in N&N is considered satisfactory and, although under other denominations, dates from at least 20 years. Innovation is still less satisfactory and there are different points of views on the issue. However, there is already a tendency towards the promotion of innovation in nanotechnology in the country. Scientists and the industrial sector have been showing interest in partnerships and some scientific policies stimulate this articulation between academy and companies.

Keywords: nanotechnology; development; innovation.

A partir dos pontos de vista de vários pesquisadores renomados, um trabalho publicado em 2006 na revista *Nature* buscou identificar quais são as grandes questões da química na atualidade.¹ Foram identificadas seis questões principais: Como projetamos moléculas com funções e dinâmicas específicas?; Qual é a base química da célula?; Como fazemos os materiais necessários para o futuro, em energia, aeronáutica e medicina?; Qual é a base química do pensamento e da memória?; Como a vida na Terra começou, e como e onde ela pode ter começado em outros mundos?; e Como podemos explorar todas as combinações possíveis de todos os elementos? Embora o artigo não utilize o prefixo nano, chama a atenção como as questões identificadas, especialmente a primeira e a terceira, estão relacionadas às potencialidades da nanotecnologia.

A nanotecnologia é, essencialmente, transdisciplinar, envolvendo químicos, físicos, biólogos, engenheiros e farmacêuticos, entre outros profissionais. No entanto, pode-se dizer que os químicos têm um papel central para o desenvolvimento da nanotecnologia. Para se ter uma idéia da importante ligação entre a química e a nanotecnologia, basta comparar suas definições. Química é a ciência que trata da composição, estrutura e propriedades da matéria, em nível atômico e molecular, bem como das reações que se produzem entre os elementos ou as moléculas.² Já as nanociências e as nanotecnologias (N&N) englobam projeto, manipulação, produção e montagem no nível atômico e molecular.³

Um nanômetro é a bilionésima parte do metro. A nanoescala vai de cerca de 100 nanômetros até aproximadamente 0,2 nanômetro.⁴ Para efeito de comparação, uma fileira de dez átomos de hidrogênio tem um nanômetro de comprimento e um único fio de cabelo tem 50 mil nanômetros de diâmetro.⁵ Nanociência é “o estudo dos fenômenos e a manipulação de materiais nas escalas atômica, molecular e macromolecular, onde as propriedades diferem significativamente daquelas em uma escala maior”, enquanto nanotecnologias são “o design, a caracterização, a produção e a aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas controlando forma e tamanho na escala nanométrica.”⁴ Embora sejam coisas distintas, muitas vezes, como forma de simplificação, utiliza-se somente o termo nanotecnologia para se referir ao conjunto das N&N.⁶

Muitos autores destacam que, para ser nanotecnológico, não basta o dispositivo ter dimensões nanométricas: ele deve explorar propriedades diferenciadas associadas à nanoescala. O alumínio pode ser um exemplo. Na nanoescala, exposto ao ar, ele sofre combustão imediata. No macromundo, isso não acontece, porque o alumínio, em contato com o oxigênio, origina um óxido protetor que impede a continuidade da reação.⁷

Outro exemplo é o carbonato de cálcio, substância que compõe tanto o giz, quebradiço, como as conchas, resistentes. A diferença é que o giz é formado por partículas grandes e desorganizadas, enquanto as conchas são constituídas por nanopartículas, bem encaixadas umas nas outras e coladas com proteínas e carboidratos. Isso demonstra como características no macromundo podem ser determinadas pela estrutura do material na nanoescala.⁸

As N&N podem contribuir para o desenvolvimento das indústrias farmacêutica, eletrônica, automobilística e têxtil, entre tantas outras. A expectativa é que, nos próximos 10 ou 15 anos, a nanotecnologia movimente um mercado de US\$ 1 trilhão, cabendo ao Brasil 1% desse faturamento.⁹

Entre os resultados brasileiros mais famosos em N&N, pode-se citar a língua eletrônica, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e com a USP de São Carlos, por meio do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação e do Instituto de Física.¹⁰ Esse dispositivo é um sensor capaz de detectar com precisão e rapidez os padrões básicos do paladar (doce, salgado, azedo e amargo), com potencial aplicação na indústria de bebidas, para análise de café, vinho etc. Nos Estados Unidos, estima-se que já existem no mercado cerca de 380 produtos com nanotecnologia.¹¹

Um discurso proferido pelo físico Richard Feynman em 1959, durante o encontro anual da Sociedade Americana de Física, na Califórnia, tem sido apontado como o marco inicial da nanotecnologia. Na palestra *There's plenty of room at the bottom*, Feynman (ganador do Prêmio Nobel de Física de 1965) provocou a platéia sobre a possibilidade de se escrever toda a Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete. Sem saber exatamente como se faria isso, o físico estava convencido de que seria possível manipular os átomos individualmente.¹² Embora essa história seja muito repetida, não se pode deixar de assinalar que os químicos dos colóides já trabalhavam com nanomateriais desde o final do século XIX.

Feynman tem sido apontado por alguns como o pai da nanotecnologia.

[#]Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, CT, Bloco A, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

* e-mail: calf@iq.ufrj.br

logia, mas tal afirmação requer certo cuidado. Ao colocar o problema de como escrever a Enciclopédia na cabeça de um alfinete, o físico disse que o desafio consistia basicamente em reduzir textos e figuras 25 mil vezes e sugeriu algumas modificações em instrumentos conhecidos – como o microscópio eletrônico – para que essa redução fosse possível. Feynman abordou também a construção de minúsculas máquinas, como automóveis, e propôs que elas fossem construídas da mesma forma que as do mundo visível, só que com componentes e ferramentas diminutos, como tornos minúsculos. Quanto à questão de como obter essas peças diminutas, uma das propostas foi que, num sistema similar aos cordões de marionetes e operado eletricamente, as mãos humanas poderiam produzir mãos menores, que, por sua vez, produziriam mãos ainda menores e assim sucessivamente. Logo, chegar-se-ia a um conjunto de mãos minúsculas capazes de construir peças também minúsculas. Nesses aspectos, pode-se suspeitar de que Feynman não seria um precursor da nanotecnologia, pelo menos não como ela é entendida hoje. Alguns trechos do discurso de 1959 transmitem a impressão de que tudo seria uma questão de reduzir a escala, mas a nanotecnologia é muito mais do que diminuir o tamanho – ela é, sobretudo, explorar os fenômenos e as propriedades que a matéria apresenta na nanoescala.

Contudo, não se pode negar que Feynman destacou características peculiares da matéria no nível atômico: “Naturalmente, um pequeno automóvel seria útil apenas para os ácaros passearem, e eu suponho que nossas inclinações de bom samaritano não cheguem a tanto. Entretanto, enfatizamos a possibilidade da fabricação de pequenos elementos para computadores em fábricas totalmente automatizadas, contendo tornos e outras ferramentas em escala muito pequena. O pequeno torno não precisaria ser exatamente como o nosso grande torno. Deixo para sua imaginação os aperfeiçoamentos de design que possam ser mais vantajosos para as propriedades de objetos em pequena escala, e de forma que fique mais fácil dar conta da necessidade de automação.”¹²

Nesse sentido, Feynman demonstrou sua convicção de que a redução de tamanho dos computadores conduziria a máquinas mais potentes. O físico reconheceu que “as coisas não reduzem a escala simplesmente de forma proporcional” e mencionou as mudanças nas propriedades magnéticas, as atrações intermoleculares, o problema da resistência etc.¹² Já numa aproximação, de fato, com a nanotecnologia como entendida hoje, Feynman destacou que, “quando tivermos algum controle sobre a disposição das coisas na escala pequena, teremos um leque enormemente maior de propriedades possíveis para as substâncias, e de diferentes coisas que poderíamos fazer.”¹²

No entanto, quanto aos métodos para obter essas substâncias ou materiais com estruturas planejadas no nível atômico e propriedades diferenciadas, Feynman considerou um processo aparentemente mecânico no qual as moléculas seriam construídas a partir do posicionamento dos átomos, um a um, nos locais e nos arranjos desejados: “Seria possível, em princípio (eu acho), para um físico, sintetizar qualquer substância química que o químico escreva. Dê as ordens e o físico sintetiza. Como? Coloque os átomos ali onde o químico diz; assim, você faz a substância.”¹² A síntese química (feita por químicos) e o auto-ordenamento, que se acredita hoje como os pilares da nanotecnologia real nos dias de hoje, não apareceram no discurso de 1959.

Mais tarde, Eric Drexler, do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, abraçou as idéias de Feynman e foi além, ao idealizar os montadores, máquinas moleculares capazes de produzir virtualmente qualquer coisa a partir de átomos e moléculas e de se auto-replicar, havendo a possibilidade de saírem de controle e transformarem o planeta em uma gosma cinza (*gray goo*).¹³ As idéias de Drexler foram desconstruídas por George M. Whitesides, professor do departamento de química da *Harvard University*. Em artigo publicado em 2001 na

revista *Scientific American*, Whitesides define Drexler como um “*futurista*” e chama a atenção para o charme ilusório do montador: “*ele é mais encantador como metáfora do que como realidade, e menos a solução de um problema do que a esperança de um milagre.*”¹⁴

Whitesides considera que nano-máquinas já existem há muito tempo na natureza sob a forma dos componentes das células, como o ribossomo, o cloroplasto, a mitocôndria e o flagelo. “*A estratégia adotada pela célula para fazer suas partes – e assim replicar-se e manter-se – é baseada em duas idéias. A primeira é usar um processo químico único e conceitualmente simples – a polimerização – para criar moléculas grandes e lineares. O segundo é construir moléculas que espontaneamente se dobrassem em estruturas funcionais de três dimensões.*”¹⁴

O autor aponta uma série de dificuldades para que o homem consiga fabricar nanomáquinas. Para Whitesides, os montadores são impraticáveis por duas razões principais. A primeira: as pinças do montador teriam que ser feitas de átomos, mas precisariam ser menores do que eles (“*imagine tentar construir um relógio fino com seus dedos, sem a ajuda de ferramentas*”).¹⁴ A segunda diz respeito à natureza dos átomos. Estes, especialmente os de carbono, ligam-se fortemente aos vizinhos, o que requer muita energia para puxá-los de um lugar e libera muita energia quando eles são colocados em outra posição. Além disso, “*um átomo de carbono forma ligações com quase qualquer coisa. É difícil imaginar como as pinças do montador seriam construídas de modo que, ao puxarem os átomos do material original, eles não grudassem nelas.*”¹⁴ Por fim, Whitesides conclui: “*A fabricação baseada no montador não é, na minha opinião, uma estratégia executável e, portanto, não é uma preocupação. Para o futuro próximo, não há nada a temer em relação à gray goo.*”¹⁴ *Gray goo* é a temida gosma cinza, a que se reduziria o planeta Terra caso os montadores de Drexler saíssem do controle.

A primeira ferramenta que, de fato, possibilitaria mover átomos individuais foi o microscópio de varredura por tunelamento (STM, na sigla em inglês), inventado por Binnig e Rohrer, no início da década de 80.¹⁵ Em artigo publicado na *Nature* em 1990, Eigler e Schweizer relataram o uso de um STM, contido em um sistema de vácuo e resfriado a 4 K, para escrever a sigla IBM com átomos individuais de xenônio sobre uma superfície de níquel de estrutura cristalina.¹⁶ Embora esse feito em si não tenha acarretado, diretamente, um produto ou processo inovador, a imagem da sigla IBM escrita com apenas 35 átomos de xenônio contribuiu para dar visibilidade ao fato de que os cientistas avançavam no estudo e no controle da matéria na nanoescala.

As imagens têm um peso muito grande na sociedade contemporânea e ajudam a chamar a atenção para determinados temas. A história da ciência contemporânea está cheia de imagens simbólicas. Quem não se lembra de Dolly, a ovelha clone, ou do porco transgênico de flocinho amarelo? Voltando ao caso da nanotecnologia, tivemos recentemente o caso da nano-Bíblia, feita do tamanho de um grão de açúcar por pesquisadores israelenses. O objetivo: dar visibilidade à nanotecnologia para atrair o interesse dos jovens pelo assunto.

O STM é constituído por uma ponta finíssima que faz a varredura da superfície da amostra. Aplica-se uma pequena diferença de potencial e há passagem de uma corrente de tunelamento entre a ponta e a amostra. A partir da medida dessa corrente, que depende da distância entre a ponta e a amostra, é possível fornecer uma imagem da superfície com resolução atômica.

Uma vez conhecida a imagem da superfície, posiciona-se a ponta do STM sobre o átomo de xenônio a ser movido. Em seguida, aumenta-se a corrente de tunelamento e a ponta do STM se aproxima do átomo de xenônio. Então, move-se a ponta do STM ao longo da superfície de níquel, arrastando o átomo de xenônio até o destino desejado. Por fim, reduz-se a corrente de tunelamento e a ponta do

STM se afasta do átomo de xenônio, deixando-o ligado à superfície de níquel no local planejado. Esse procedimento foi repetido sucessivas vezes para se montar o logo da IBM. A periodicidade do espaçamento entre os átomos de xenônio foi derivada da estrutura cristalina da superfície de níquel subjacente.

Nos Estados Unidos, desde 1996, representantes de várias agências discutiam estratégias para a nanotecnologia. O primeiro desenho de um plano norte-americano ficou pronto em 1999. A proposta passou por um processo de avaliação e, então, no orçamento para 2001 da administração Clinton, a nanotecnologia foi colocada como uma iniciativa federal, a *National Nanotechnology Initiative (NNI)*.¹⁷

Foi mais ou menos nessa época que o Brasil começou a dar destaque à nanotecnologia. No final do ano 2000, o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) convocou uma reunião com pesquisadores que já atuavam ou tinham interesse na área.¹⁸ O primeiro edital específico sobre o tema foi lançado em 2001 e resultou na formação de quatro Redes Cooperativas de Pesquisa: *Materiais Nanoestruturados*, sediada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); *Nanotecnologia Molecular e de Interfaces*, sediada na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); *Nanobiotecnologia*, sediada na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); e *Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados*, também sediada na UFPE.

O Plano Plurianual (PPA) 2000-2003 do governo federal já previa uma ação para nanotecnologia. No PPA 2004-2007, essa área ganhou um programa: Programa 1110 – Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia. Em 2005, contudo, as ações desse programa foram inseridas em um outro programa mais abrangente: Programa 1388 – Ciência, Tecnologia e Inovação para a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). Nesse mesmo ano, foi lançado o Programa Nacional de Nanotecnologia (PNN), reunindo os recursos do PPA 2004-2007 com os dos Fundos Setoriais e buscando colocar em prática a PITCE no que diz respeito às N&N. Cabe questionar, no entanto, até que ponto o PNN, de 2005, constituiu uma novidade, visto que ele manteve como seu documento-base o mesmo texto do programa de nanotecnologia do PPA 2004-2007.

A nanotecnologia, ao lado da biotecnologia e das energias renováveis, é uma das atividades portadoras de futuro no âmbito da PITCE.¹⁹ Isso demonstra o caráter que vem sendo atribuído à nanotecnologia, exaltada por seu potencial de inovação para o desenvolvimento industrial e econômico. E muitos autores já afirmaram que a nanotecnologia representa uma revolução tecnológica.

Por outro lado, também não faltam autores segundo os quais a nanotecnologia é velha conhecida da humanidade. Eles lembram, por exemplo, que as cores de certos vitrais de igrejas medievais são o resultado da absorção diferenciada da luz por nanopartículas de ouro com tamanhos distintos.²⁰

Em 2004, o professor do Instituto de Química da USP Henrique E. Toma lançou um livro de divulgação científica intitulado *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*. O título transmite a idéia de que a nanotecnologia é uma novidade ou uma promessa do século XXI. Contudo, no último capítulo da obra, o autor ultrapassa essa idéia, ao contar como começou a fazer pesquisas na nanoescala, no final da década de 70.

Em 1979, Toma foi para o Instituto de Tecnologia da Califórnia e lá se envolveu com a bioinorgânica: “*Foi uma preparação para o meu ingresso na nanotecnologia. A bioinorgânica questiona a função dos elementos nos sistemas biológicos e a função de cada componente biológico.*”²¹ De volta ao Brasil, o pesquisador se deparou não só com a dificuldade de extrair, purificar e conservar materiais biológicos, mas também com a carência de recursos financeiros e com a alta competitividade internacional. Foi por isso que, no final dos anos 80, deixou de lado os sistemas biológicos propriamente ditos: “*Eu*

passsei a ser mais objetivo: em vez de trabalhar com as biomoléculas in natura, ou seja, como são obtidas na natureza, passei a sintetizar os centros ativos e fazer modificações químicas, incorporando grupos ou moléculas ao seu redor.”²¹

O acoplamento de grupos ou moléculas gera espécies químicas com propriedades diferentes. O professor Jean Marie Lehn ganhou o Prêmio Nobel de Química de 1987 por seus trabalhos em química supramolecular, área na qual, a partir de moléculas isoladas, gera-se uma estrutura funcional. Toma, então, constatou que o que ele próprio vinha fazendo se chamava química supramolecular: “*De repente, da química supramolecular eu me vi dentro da nanotecnologia. Agora, aquelas moléculas que eu montava eram máquinas e eu tinha que tirar todo o proveito dessas moléculas para produzir algum trabalho, um efeito útil, que é a idéia da nanotecnologia.*”²¹

O depoimento de Toma em seu livro foi um dos pontos de partida deste trabalho, que gerou uma tese de História da Ciência Contemporânea, na qual se pretendeu demonstrar como as nanociências e as nanotecnologias já eram desenvolvidas no Brasil antes das ações coordenadas do MCT nessa área.²² Este artigo também visa analisar até que ponto a nanotecnologia pode ser considerada uma revolução e em que medida ela tem efetivamente contribuído para a PITCE e para promover a inovação tecnológica.

Basicamente, existem dois tipos de inovação: a radical, que gera produtos, processos e serviços totalmente novos; e a incremental, que representa melhorias em produtos, processos e serviços já existentes, sem alteração na estrutura industrial.²³

As promessas da nanotecnologia incluem os montadores, a cura de doenças como o câncer e a Aids, a solução dos problemas energéticos, os computadores quânticos, as conquistas espaciais etc. Entre as realizações da nanotecnologia, encontram-se tecidos que não mancham, plásticos mais resistentes, vidros auto-limpantes, cosméticos com maior penetração na pele etc.

Dessa forma, as promessas da nanotecnologia poderiam ser encaixadas na categoria de inovação radical, enquanto as realizações da nanotecnologia, pelo menos até agora, ficariam na categoria de inovação incremental. De acordo com Wood, Jones e Geldart, os produtos nanotecnológicos reais, embora interessantes e lucrativos, jogam um balde de água fria nas promessas revolucionárias, segundo as quais há pouca coisa que a nanotecnologia não possa fazer.²⁴

Suchman distingue duas classes de nanotecnologia: os nanomateriais, descontinuidades discretas, com precedentes; e as nano-máquinas, dispositivos com invisibilidade, micro-locomção e auto-replicação, entre outras propriedades, que impõem desafios sem precedentes. Para o autor, mesmo os nano-materiais mais inovadores, como uma munição que penetra tanques blindados, terão implicações relativamente familiares, comparáveis, por exemplo, às do plástico. Por outro lado, “*máquinas nano-construídas nos forçarão a reformular nossas regras e instituições para governar um cenário não familiar com o qual nós não temos experiência prévia.*”²⁵

Sparrow salienta que uma dose de hipocrisia perpassa o debate sobre a nanotecnologia.²⁶ Segundo o autor, cientistas em busca de financiamento para suas pesquisas e empresários interessados em vender seus produtos afirmam que a nanotecnologia fará coisas maravilhosas e nunca vistas. Contudo, questionados sobre eventuais riscos, alegam que a nanotecnologia é somente a reunião na nanoescala de técnicas de manipulação da matéria relativamente familiares.

Para a produção deste artigo, foi realizada revisão bibliográfica, bem como análise de documentos oficiais, principalmente do MCT, e de notícias sobre o tema publicadas em jornais, revistas e boletins eletrônicos. Além disso, também foram colhidos depoimentos de profissionais que, no Brasil, têm atuação importante em pesquisas e/ou em políticas de nanotecnologia. Este procedimento se fez necessário na medida em que a nanotecnologia é um assunto relativamente

recente e, por isso, muitas informações pertinentes à temática ainda não estão registradas por escrito em documentos.

No início do século XXI, o lançamento da NNI, nos Estados Unidos, levou o Brasil a prestar mais atenção à nanotecnologia. Mas isso não significa que foi somente a partir da NNI que o Brasil começou a fazer nanotecnologia. É o que diz o ex-coordenador-geral de Micro e Nanotecnologias do MCT, Alfredo de S. Mendes: “*Já se trabalhava em escala nanométrica há muito tempo, mas não se usava o slogan nano. Com o lançamento dos programas americano e japonês, esse slogan apareceu no contexto mundial. A coisa era solta, dispersa no Brasil. Decidiu-se mapear as competências no país e já havia competências estabelecidas aqui.*”²⁷

Para a realização de pesquisas na nanoescala, é necessário dispor de certas facilidades experimentais. Estas começaram a ser instaladas no país antes do prefixo nano entrar na moda, conforme explica o físico Cylon G. da Silva, que participou, desde os anos 80, da implantação do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS): “*Nos documentos iniciais do LNLS nós queríamos construir um laboratório que disponibilizasse instrumentos capazes de estudar matéria no nível atômico. Por isso foi tão fácil desenvolver a nanotecnologia no Brasil. Porque ao longo dos anos o país investiu em laboratórios capazes de fazer nanotecnologia e nanociência, sem usar esse termo. A FAPESP [Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo] investiu pesadamente, o CNPq [Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico] e a Finep [Financiadora de Estudos e Projetos] também. Mas o que chamou a atenção do mundo para a nanotecnologia foi o programa americano.*”²⁸

Foi por volta de 2000-2001 que o prefixo nano começou a ganhar notoriedade. Antes disso, porém, já havia no Brasil recursos humanos voltados para a nanotecnologia. O físico Paulo C. de Moraes, da Universidade de Brasília (UnB), teve seu primeiro contato com as N&N durante o mestrado, de 1978 a 1980. Ele estudava o tema superparamagnetismo, “*um fenômeno descrito no final da década de 50, hoje completamente inserido em N&N.*”²⁹ Quase uma década depois, no pós-doutorado, nos Estados Unidos, entre 1987 e 1988, Moraes continuava trabalhando com sistemas de dimensões nanométricas, mas o prefixo nano ainda era incomum: “*Sempre estive trabalhando com materiais nano, apenas por perceber que estes materiais têm propriedades muito diferenciadas dos materiais não-nano, tipo micro. Curiosamente, todos nós da área, os mais antigos, eu creio, descobrimos mais recentemente que estávamos fazendo nano.*”²⁹

Há quem tenha entrado no campo das N&N logo na iniciação científica. Foi o caso do químico Petrus Santa-Cruz, da UFPE, que começou a atuar em nanociência nos anos 80.³⁰ Em 2000, o pesquisador criou a Ponto Quântico, considerada a primeira empresa brasileira de nanotecnologia. A partir de pesquisas acadêmicas, a Ponto Quântico desenvolve produtos com o objetivo de licenciá-los para que outras companhias os fabriquem em larga escala. O portfólio da empresa inclui produtos das áreas de saúde e meio ambiente, como equipamentos para medir a exposição à radiação ultravioleta e um sensor para detectar poluentes metálicos em água potável.³¹

O físico Eronides Silva é outro pesquisador da UFPE que também já trabalhava na nanoescala antes do ano 2000, isto é, antes das ações coordenadas do governo para o setor. Ele teve seu primeiro contato com a nanotecnologia nos Estados Unidos, durante o doutorado, no início da década de 80, quando começou a estudar nanomateriais. “*Nano é uma palavra recente. Já se faz pesquisa há muito tempo, só que com outros nomes. Nos anos 90, na física, se usava muito a expressão novos materiais, área em que a nano está inserida hoje. O Projeto Genoma é nano também. Nano é uma evolução natural da ciência e da tecnologia. Chegamos às dimensões nanométricas. No futuro, poderemos chegar ao pico (10⁻¹² metros).*”³²

O físico Israel Baumvol, da UFRGS, preferiu não definir um ponto

específico a partir do qual se engajou em N&N. “*Fui naturalmente envolvido, porque trabalhava com materiais para microeletrônica e me vi obrigado a lidar com dimensões nanoscópicas, há uns 10 ou 12 anos, ou seja, bem antes da nanotecnologia entrar na moda.*”³³

O ingresso no mundo nanométrico também aconteceu naturalmente para o químico Nelson Duran, da Unicamp, especializado em biotecnologia e acostumado a lidar com enzimas e microrganismos: “*A dimensão nano está presente na bioquímica celular, de modo que, para mim, entrar na nanobiotecnologia foi como um passo natural.*”³⁴

Duran citou um trabalho que considera exemplar quando o assunto é a origem da nanotecnologia no Brasil. Trata-se de um projeto conduzido por outro químico da Unicamp: Fernando Galembeck. O tal projeto levou à criação de um novo pigmento branco, o *Biphor*, patenteado e publicado nos anos 90. “*Em relação ao Biphor, há hoje uma planta que produz uma quantidade relativamente pequena, usada para fazer amostras distribuídas aos fabricantes de tintas, de modo que eles possam estudar e experimentar o pigmento. O Biphor está no mercado? Sim, mas nada é faturado ainda. Produção em escala maior, para faturamento, só em 2009. Desde o início até aqui, foram 20 anos de estudos.*”³⁵

O químico Oswaldo Luiz Alves, também da Unicamp, disse ter ingressado na nanotecnologia por volta de 1987, quando participava de um projeto visando materiais para telecomunicações e fotônica. Contudo, ele frisou que: “*Nanotecnologia é uma temática, pelo menos do ponto de vista conceitual, onde não existe o antes e o depois. Vimos acompanhando o seu desenvolvimento e realizando pesquisas desde o início, ou seja, desde a fase anterior a 1987, quando tais estudos eram tratados como fazendo parte da grande área de sistemas mesoscópicos.*”³⁶

Os depoimentos dos pesquisadores mostraram que eles já se familiarizavam com a nanotecnologia há, pelo menos, 20 anos, mesmo que o prefixo nano não fosse usado. Isso sugere que, em determinadas situações, a nanotecnologia pode ser “*uma questão de linguagem, mais do que de real novidade conceitual.*”³⁷

Isso está de acordo com o documento *Nanoscience e nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, de 2004, produzido pela Royal Society e pela Royal Academy of Engineering, segundo o qual as N&N, sob certos aspectos, não constituem uma novidade: “*Químicos vêm fazendo polímeros, que são grandes moléculas fabricadas com subunidades na nanoescala, há muitas décadas e nanotecnologias foram usadas para criar as partes minúsculas dos chips de computador nos últimos 20 anos. Contudo, avanços nas ferramentas que agora permitem que átomos e moléculas sejam examinados e explorados com grande precisão possibilitaram a expansão e o desenvolvimento da nanociência e das nanotecnologias.*”⁴

Destaca-se também que, nos depoimentos dos pesquisadores, é recorrente a história de que eles se envolveram com a nanotecnologia naturalmente, a partir da evolução de linhas de pesquisa previamente existentes. Esses relatos remetem a um caráter evolucionário das N&N, o que contraria um outro discurso, bastante freqüente em documentos do MCT e textos jornalísticos: o discurso de que as N&N representam uma revolução científico-tecnológica.

O *Livro Verde da Ciência, Tecnologia e Inovação*, uma publicação do MCT e da Academia Brasileira de Ciências, associa a nanotecnologia à idéia de revolução: “*Um problema chave, hoje, é o da criação de nanoestruturas funcionais, utilizando conceitos de supramoléculas, auto-ordenamento e compartimentalização. Este trabalho é a resposta ao desafio de se construir estruturas de dimensões muito inferiores às da atual microeletrônica, para com elas construir dispositivos funcionais (optoeletrônicos, microeletrônicos, biomédicos) e materiais estruturais que explorem propriedades revolucionárias, como a superplasticidade de nanopartículas. O sucesso*

no domínio desta propriedade poderá gerar uma nova revolução tecnológica na fabricação de materiais estruturais e objetos de uso geral, tão grande quanto foi a revolução causada pela introdução dos plásticos, no século XX.”³⁸

Outro exemplo foi extraído do *Relatório Final da Consulta Delphi em Nanociência e Nanotecnologia*, do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), segundo o qual “prevê-se que a N&N deva representar a maior revolução tecnológica presenciada pela humanidade até hoje, superando o surgimento da microeletrônica, das telecomunicações, dos plásticos e das vacinas considerados como um todo.”³⁹

Já o documento-base do programa de nanotecnologia no âmbito do PPA 2004-2007 tem um discurso ambivalente. Por um lado, pondera-se que “não se trata de uma descontinuidade tecnológica ou de uma nova tecnologia radicalmente nova, mas sim de uma acelerada evolução do conhecimento e do domínio humano sobre a matéria.”⁴⁰ Ou seja: a nanotecnologia é incremental. Por outro, lembra-se que “estão surgindo classes inteiramente novas de dispositivos e sistemas micro e nanofabricados. Esta nova situação parece indicar um novo salto da civilização tecnológica, porque oferece oportunidades científicas e industriais que eram impensáveis até agora.”⁴⁰ Ou seja: a nanotecnologia é revolucionária.

Pode-se argumentar, ainda, que as N&N são evolucionárias do ponto de vista das linhas de pesquisa, mas revolucionárias em relação às aplicações tecnológicas dos resultados. Contudo, as aplicações nanotecnológicas realizadas até agora, no Brasil e no mundo, estão mais para inovações incrementais (evolucionárias) que para inovações radicais (revolucionárias), conforme revelarão exemplos apresentados mais adiante neste artigo e também de acordo com as conclusões do estudo da *Royal Society* e da *Royal Academy of Engineering* divulgado em 2004.

Coexistem no Brasil duas idéias opostas sobre a trajetória da nanotecnologia: evolucionária versus revolucionária. Dois pontos de vista opostos também podem ser identificados quando o assunto é inovação (em geral e especificamente em nanotecnologia). Há um certo consenso de que os indicadores de produção científica no Brasil são bons. Contudo, quanto à produção de inovações, as opiniões se dividem. De um lado, aqueles que julgam que a inovação vai mal no país e se queixam da pouca participação das empresas nacionais. De outro, aqueles que destacam exemplos da capacidade inovadora brasileira e criticam a falta de uma cultura da inovação dentro das universidades, onde não se trabalharia com foco no mercado. No meio, dados que mostram que, embora a inovação no Brasil ainda precise melhorar, ela tem demonstrado potencial de crescimento.

No Brasil, no campo da produção científica em geral, os números são bastante interessantes. Em 2000, o investimento por pesquisador em tempo integral foi de US\$ 193 mil, valor semelhante ao dos Estados Unidos e superior ao do Japão. Desde 1990, o número de cientistas nas instituições de pesquisa brasileiras triplicou e, com quase 3 mil cursos de pós-graduação reconhecidos, o país formou, em 2004, 27 mil mestres e 8 mil doutores. O Brasil responde por 1,5% de todos os artigos científicos publicados em revistas internacionais indexadas e esse percentual sobe para 45% quando se considera a participação brasileira na produção científica da América Latina.⁴¹

No campo da produção científica em N&N, o cenário no Brasil também é promissor. Foi somente na virada para o século XXI que o governo começou a estruturar um programa coordenado para N&N. Contudo, conforme já discutido neste artigo, desde o final dos anos 70, os sistemas em dimensões nanométricas passaram a ser alvo de estudos de brasileiros. Devido à evolução dessas iniciativas prévias, a produção científica do país em N&N saiu fortalecida e hoje desfruta de certo prestígio no cenário mundial:

■ Publicado em 2005 no periódico *Journal of Nanobiotechno-*

logy, um artigo assinado pelos químicos Nelson Duran e Oswaldo Luiz Alves, da Unicamp, recebeu o *status* de altamente acessado: já contabilizou mais de 3.800 *downloads*.^{42,43} Usando fungos da espécie *Fusarium oxysporum*, os pesquisadores conseguiram produzir nanopartículas de prata, que têm propriedades bactericidas e, dessa forma, podem ser aplicadas na confecção de tecidos para curativos e meias (para combater odores desagradáveis).⁴⁴

■ Um projeto sobre separação de nanotubos de carbono recebeu em 2006 o prêmio *Collaboration Success Award*, concedido pelo *Council for Chemical Research*, dos Estados Unidos. O projeto premiado é uma colaboração entre a empresa DuPont, o MIT e as universidades de Illinois e do Texas. Entre os membros da equipe, está a brasileira Adelina P. dos Santos, pesquisadora do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) e integrante da Rede Nacional de Pesquisas em Nanotubos de Carbono.⁴⁵

■ Físicos brasileiros ganharam destaque internacional por seus estudos sobre o nanofio de ouro.⁴⁶ Edison Z. da Silva, Adalberto Fazzio, Antônio José R. da Silva e Frederico D. Novaes, o primeiro da Unicamp e os outros três da USP, tiveram seu trabalho reconhecido nas páginas da *Science*, em 2003, quando a prestigiada revista considerou-o destaque da literatura recente em ciência dos materiais.⁴⁷

A comunidade científica brasileira dedicada às N&N é composta por cerca de 3 mil indivíduos.⁴⁸ Nessa área, o país parece contar com a melhor base de recursos humanos e com a melhor infra-estrutura da América Latina.³⁹ O relativo sucesso da pesquisa nacional em N&N foi verificado por inquérito realizado pelo Prof. Oswaldo Luiz Alves.⁹

O pesquisador comparou a produção científica em N&N de 18 países, por meio de consulta à base de dados *Web of Science* do *Institute for Scientific Information (ISI)*. De 1994 a 2004, o grupo dos países-chave (Estados Unidos, Alemanha, Japão, França, Canadá, Reino Unido, Espanha, Suécia e Suíça) publicou cerca de três vezes mais artigos científicos em N&N que o grupo dos países-competidores (Brasil, Índia, China, Austrália, Coreia, Cingapura, Israel, México e Taiwan).

Entre os países-chave, os Estados Unidos publicaram o maior número de artigos científicos em N&N (21.769), seguidos pelo Japão (10.883). Entre os países-competidores, o destaque foi a China (em torno de 10.100 artigos), seguida pela Coreia (cerca de 2.700 publicações). Com 1.066 trabalhos publicados de 1994 a 2004, o Brasil ocupa o 5º lugar no *ranking* dos países-competidores.

De 1994 a 2002, a taxa de crescimento das publicações em N&N dos países-chaves foi de 650%, contra 1.500% dos países-competidores. Considerando-se o Brasil isoladamente, ele subiu de 11 artigos em 1994 para 297 em 2002, o que significa um crescimento de 2.700%. A China, por sua vez, passou de 141 publicações em 1994 para 2.187 em 2002, o que representa um aumento de cerca de 1.550%. Quanto às taxas de crescimento dos Estados Unidos e do Japão, elas ficaram em torno de 680 e 760%, respectivamente.

Em outras palavras, Estados Unidos, Japão e China ocupam posições melhores, mas a taxa de crescimento do Brasil é mais acelerada, ao menos no quesito artigos científicos na base *Web of Science* do ISI. Em relação à taxa de crescimento das publicações em N&N, levando-se em conta todos os 18 países estudados, o Brasil só fica atrás de Cingapura (17.000%) e Coreia (3.920%). Esses dados sustentam que a pesquisa em N&N no Brasil está em crescimento, com destaque para a produção da USP e da Unicamp, seguidas pela UnB e pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).⁹

No entanto, nem todos os pesquisadores são tão otimistas quanto à posição da nanotecnologia brasileira no cenário mundial. Embora reconheça os méritos de alguns grupos e que o potencial brasileiro é grande, o engenheiro Jacobus Swart, da Unicamp, afirma que “o Brasil está muito atrasado em relação a outros países.”⁴⁹

Em 2004, Estados Unidos, Japão e Europa tiveram orçamentos globais de pesquisa em nanotecnologia de, respectivamente, US\$ 3,7 bilhões, US\$ 2,5 bilhões e US\$ 2,4 bilhões, enquanto o resto do mundo somava US\$ 1 bilhão.⁵⁰ O governo brasileiro investiu em N&N cerca de R\$ 140 milhões entre 2001 e 2006.⁵¹

Também existe a crítica de que o relativo sucesso das N&N no Brasil estaria restrito às universidades e aos centros de pesquisa, sem o devido engajamento do setor produtivo. Faz-se necessário analisar até que ponto essa crítica é pertinente, na medida em que a inovação tecnológica é hoje considerada estratégica para os países.

Segundo estimativas da Pesquisa de Inovação Tecnológica 2005, em um universo de mais de 91 mil empresas industriais, menos de 7 mil contavam com atividades internas de pesquisa e desenvolvimento.⁵² Chama a atenção também uma comparação entre Brasil e Coreia do Sul: “Em 2002, os sul-coreanos depositaram mais de 3,4 mil pedidos de patentes nos Estados Unidos, contra pouco mais de uma centena do Brasil. Os dois países têm uma comunidade de cientistas de tamanho equivalente, mas na Coreia cerca de 80% dos cientistas dedicam-se a fazer pesquisa e desenvolvimento na indústria, enquanto no Brasil a indústria não absorve mais que 10% dessa qualificada força de trabalho.”⁴¹

Para o físico Marcelo Knobel, da Unicamp, as empresas não investem como deveriam: “Avanços na área de filmes finos, nanotubos de carbono e semicondutores nanoscópicos são impressionantes. [...] O Brasil, apesar das enormes dificuldades de financiamento, tem realizado excelentes pesquisas na área básica de investigação, pois tem uma infra-estrutura razoável já estabelecida e uma boa quantidade de pesquisadores. Entretanto, na área de nanotecnologia, assim como na tecnologia em geral, o Brasil vai muito mal, pois as empresas não investem em pesquisa aplicada. Temos potencial para avançar muito, mas seria necessária uma mudança de atitude radical para mudar o cenário, pois senão ficaremos mais uma vez defasados nessa área tão importante.”⁵³

Parece haver no Brasil um “descompasso” entre os indicadores de produção científica e os de produção de inovações, sendo estes menos animadores que aqueles. A publicação *Brasil Inovador*, produzida pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), apresenta razões históricas para esse “descompasso”: “De um lado, a indústria brasileira cresceu nas décadas de 60 e 70 num ambiente de proteção do mercado contra a concorrência externa e sem necessidade de atualização tecnológica. [...] Não por acaso, a inovação só começou a entrar na agenda das empresas na década de 90, com a abertura da economia. De outro lado, pesquisadores ligados a universidades e institutos públicos de pesquisa sempre estiveram no comando de órgãos públicos encarregados de fomentar as atividades de ciência e tecnologia do país. Era natural que se mobilizassem mais em atender as necessidades das instituições acadêmicas do que em investir nas empresas.”⁴¹

O químico Fernando Galembeck, da Unicamp, também envolvido na área de N&N, considera que grande parte da ciência que vem sendo feita nas universidades e demais institutos de pesquisa do país é um “tributo à irrelevância”, isto é, estuda-se o que é de interesse do cientista, muitas vezes em detrimento do que é de interesse estratégico para o setor produtivo nacional.⁵⁴ Outra questão colocada por Galembeck é que “o sistema brasileiro de C&T é dirigido por pessoas que falam sobre inovação mas pouco fizeram.”⁵⁴ Para ele, não há desinteresse das empresas brasileiras por inovação, ou melhor, enquanto há desinteresse por parte de algumas empresas, outras estão muito interessadas.

Apesar do aparente desacordo entre os indicadores de ciência e os de inovação, esta já se faz notar em setores da economia nacional. Um exemplo emblemático é o setor do petróleo. “A gigante Petrobras é referência mundial no desenvolvimento e na inovação tecnológica,

sobretudo na exploração de óleo em águas profundas e nos combustíveis alternativos.”⁴¹ Há outros exemplos muito citados: os jatos da Empresa Brasileira de Aeronáutica (Embraer); os motores *flex fuel*; a urna eletrônica; o agronegócio etc.

Na área de N&N, também há exemplos de inovação. Antes de citar alguns deles, no entanto, cabe lembrar que nem todo produto que contém o prefixo nano no rótulo é, de fato, nanotecnológico. Por outro lado, um produto pode conter nanopartículas e não informar isso em seu rótulo. Como ainda não existe um amplo conhecimento do que seja nanotecnologia por parte de consumidores e reguladores, as empresas usam ou não o prefixo nano de acordo com seus interesses.⁵⁵ Elas podem omitir o termo se acharem que ele vai gerar desconfiança no consumidor quanto a possíveis riscos e utilizá-lo quando julgarem que ele aumenta o valor do produto percebido pelo consumidor.

Seguem, então, alguns exemplos de iniciativas brasileiras de inovação na área de N&N – uma lista que não tem a menor pretensão de estar completa:

- O cosmético *Vitactive Nanoserum Anti-sinais*, do Boticário, tem “nanotecnologia avançada”, o que confere ao produto “uma distribuição mais homogênea e eficaz dos ingredientes ativos nas camadas da pele.”⁵⁶

- A Santista lançou a etiqueta *NanoComfort*, que identifica tecidos com nanotecnologia. Estes apresentam características como absorção e secagem mais rápida do suor, resistência a manchas e propriedades antimicrobianas.⁵⁷

- A Suzano Petroquímica lançou um polipropileno nanoestruturado com prata, o que lhe confere propriedade antimicrobiana.⁵⁸ Também está em desenvolvimento pela empresa uma tecnologia de nanopartículas de cerâmica agregadas ao polipropileno, o que aumenta a rigidez do material e sua capacidade de bloquear a passagem de gases. Além disso, a Suzano tem um projeto que visa a um material antichama.⁵⁹

- A empresa mineira Suggar colocou no mercado brasileiro em 2007 a primeira máquina de lavar com nanotecnologia, que promete deixar as roupas mais limpas, livres de bactérias. Isso porque a máquina é fabricada com aquele polipropileno nanoestruturado com prata fornecido pela Suzano.⁶⁰

- A Incrementa – fruto da parceria dos laboratórios farmacêuticos Biolab e Eurofarma para promover o desenvolvimento e a inovação tecnológica de medicamentos – anunciou que um anestésico de uso tópico com nanotecnologia deve chegar ao mercado no final de 2008. Os benefícios esperados do anestésico, que dispensa as agulhas, incluem diminuição da dose, maior rapidez de ação e prolongamento dos efeitos terapêuticos.^{61,62}

- A Taiff tem um secador de cabelos com nanotecnologia *Nanox Clean*. De acordo com a empresa, o aparelho *Taiff Titanium* contém nanopartículas de titânio que combatem bactérias e fungos e proporcionam um jato de ar mais puro, uma secagem mais higiênica e cabelos mais limpos.⁶³

Com projetos na área de nanocompósitos, a Braskem é uma das 40 empresas que investem em inovação destacadas pela publicação *Brasil Inovador*. Com um faturamento em 2005 de R\$ 15,2 bilhões e 3.500 funcionários, a Braskem investe cerca de R\$ 50 milhões anuais em pesquisa e desenvolvimento e emprega nestas atividades acerca de 200 pessoas em tempo integral. “Um projeto na área de nanotecnologia, que resultou em patente depositada, é o melhor exemplo da cristalização dessa estratégia. Ele é desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e trata-se, grosso modo, da adição de uma argila especial com dimensões nanométricas a tipos diferentes de plástico, o que lhes confere novas propriedades e abre inúmeras possibilidades. A partir desses plásticos pode-se conseguir, por exemplo, estufas para agricultura que retêm mais calor, embalagens que aumentam o tempo de vida útil dos alimentos,

tanques de combustível para veículos mais baratos e que impedem a evaporação, entre muitas outras aplicações possíveis."⁴¹

A nanotecnologia, contudo, não é alvo somente de empresas bilionárias como a Braskem. O Prêmio Finep de Inovação Tecnológica, na categoria nacional para Pequena Empresa, foi concedido em 2007 à Nanox, empresa incubada no ParqTec de São Carlos (SP) que desenvolve e fornece a outras empresas soluções na área de nanotecnologia, o que envolve sínteses de óxidos, metais e compósitos nanoestruturados e tratamentos de superfícies, para a obtenção de propriedades especiais. A nanotecnologia incorporada ao secador de cabelos *Taiff Titanium*, por exemplo, foi desenvolvida pela Nanox, que nasceu como uma *spin-off* do Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (Liec) da Universidade Estadual Paulista (Unesp) de Araraquara e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).^{64,65}

A Nanox foi fundada em 2004 por três jovens químicos com pouco mais de R\$ 2 milhões da Fapesp e do CNPq. Em 2006, o fundo de capital de risco Novarum entrou no negócio (o Novarum é um fundo de capital semente do qual a Finep é cotista). Com 15 funcionários e um faturamento de R\$ 500 mil em 2006, a Nanox faz parcerias para agregar nanotecnologia aos produtos de grandes empresas e tem como metas aumentar a escala de produção e fornecer insumos para produtos populares.⁶⁶

Pequenas empresas que mantêm vínculos com o setor acadêmico – ou mesmo nascem dentro de uma universidade – e oferecem soluções tecnológicas para empresas maiores podem ser uma tendência, tanto em nanotecnologia como em outros campos. Essas pequenas empresas supririam a demanda por pesquisa e desenvolvimento das empresas maiores, que responderiam pela escala de produção, colocando inovações no mercado.

Apesar da diferença de porte, Braskem e Nanox apresentam características comuns: ambas têm projetos de inovação em nanotecnologia e parcerias com universidades. “*Os casos bem-sucedidos de parcerias universidade-empresa não devem ser tomados como a regra geral, mas demonstram que este caminho pode e deve ser trilhado.*”⁴¹

Se, de um lado, empresas têm buscado se associar às universidades e institutos de pesquisa, de outro, também os pesquisadores começam a se mostrar abertos à interação com o setor produtivo. Um indício é que as redes de pesquisa em N&N formadas no país costumam ter ao menos uma empresa como parceira.

Para ilustrar essa situação, pode-se citar a *Rede Brasileira de Nanobiomagnetismo*, criada em 2005 e coordenada pelo físico Paulo C. de Moraes, da UnB. A iniciativa é focada em pesquisa e desenvolvimento de materiais magnéticos nanoestruturados voltados a aplicações biológicas e biomédicas. “*Procuramos desenvolver o nosso trabalho no sentido de ligar desde a pesquisa mais básica até o consumidor. Veja, estou falando do consumidor. O exemplo mais claro disto foi a inauguração do serviço de tratamento de câncer de pele no Hospital Regional da Asa Norte, em Brasília, em outubro do ano passado [2006]. A nossa equipe está à frente deste serviço, preparando-o para que seja, no futuro breve, o nosso ambiente de testes clínicos de sistemas magnéticos nanoestruturados pesquisados e desenvolvidos no âmbito da Rede. Temos duas empresas privadas que fazem parte da Rede, prontas para absorver a tecnologia desenvolvida no âmbito da mesma. Portanto, tenho que avaliar que a nossa Rede está cumprindo a premissa fundamental que norteou a criação deste programa com recursos públicos, a de contribuir para a PITCE.*”²⁹

Iniciativas como esta têm sido incentivadas pelo governo brasileiro, que, nos últimos anos, vem sustentando um discurso pró-inovação, como demonstra a articulação da nanotecnologia dentro da PITCE. Logo, se ainda falta uma cultura da inovação, pelo menos o discurso pró-inovação em N&N já existe. Apesar de discurso não significar prá-

tica, ele pode ser encarado, no mínimo, como um primeiro passo para uma mudança de postura. É esse discurso pró-inovação que, pouco a pouco, vem aproximando os setores acadêmico e industrial.

Em 1976, o Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico tinha pouca conexão com a indústria.⁶⁷ Durante muito tempo, a política de ciência e tecnologia e a política industrial estiveram dissociadas, o que pode ter resultado em um reduzido número de empresas com atividades de pesquisa e desenvolvimento. Em 2001, a Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação constatou a necessidade de incentivar soluções tecnológicas inovadoras nas empresas.

Atualmente, pode-se citar uma série de instrumentos do governo federal que visam fortalecer o potencial inovador brasileiro não só em N&N, mas também em diversos outros campos. O CNPq e a Finep têm lançado editais voltados ao desenvolvimento tecnológico de produtos, processos ou serviços, à cooperação entre instituições de pesquisa e o setor produtivo, às incubadoras de empresas etc. Destaca-se, também, a Lei de Inovação (Lei 10.973/04), que “*estabelece novo marco para a relação entre universidades e institutos de pesquisa públicos e empresas privadas, além de possibilitar ação mais positiva do Estado no apoio à inovação empresarial.*”⁶⁸

Contudo, sondagem realizada pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo em 2005 revelou que “*mais de 90% das empresas pesquisadas têm pouca informação sobre os órgãos e mecanismos de apoio à inovação, e que 64% das empresas têm pouca capacitação para o uso dos instrumentos de incentivo existentes.*”⁶⁹

De acordo com o ex-diretor da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), Evando Mirra, as atividades de inovação representam metade do crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) nos países desenvolvidos. A importância da inovação já é reconhecida também nos países emergentes. Segundo Mirra, a inovação no Brasil ainda enfrenta dificuldades, mas já exhibe conquistas significativas: “*Se apenas 1,7% das nossas indústrias inovam e diferenciam produtos de forma a competir com eficácia no mercado internacional, elas já representam cerca de 25% do PIB industrial brasileiro. [...] Embora lentamente, nossa capacidade inovadora começa a crescer e sinaliza o caminho para uma presença mais ambiciosa.*”⁷⁰

No caso particular das N&N, mesmo que haja falhas no sistema brasileiro de inovação, algumas empresas no Brasil, sozinhas ou em parceria com universidades e institutos de pesquisa, têm investido no desenvolvimento de produtos e processos de base nanotecnológica. Isto é: mesmo que a inovação não seja tão satisfatória no país, algo já vem sendo feito para impulsionar o potencial inovador brasileiro em N&N.

Ressalta-se, porém, que as soluções nanotecnológicas já desenvolvidas no país, algumas delas já citadas neste artigo, como cosméticos, plásticos e tecidos, são mais bem descritas como novidades incrementais – os resultados obtidos até o momento indicam que, em curto prazo, a nanotecnologia não deve trazer novidades radicais. A nanotecnologia radical deve demorar, mas a nanotecnologia incremental já dá frutos, inclusive no Brasil. Embora menos impactante e abaixo das expectativas criadas, a nanotecnologia incremental tem grande importância e pode proporcionar o aumento da competitividade da indústria nacional.

Artigo da Associação Brasileira das Indústrias de Química Fina, Biotecnologia e Suas Especialidades (Abifina) defende que o setor público deve difundir a cultura da inovação incremental, na qual a indústria absorve uma tecnologia já existente, em geral no exterior, faz adaptações e chega a um produto localmente inovador. Não se trata de adquirir uma nova tecnologia pronta, mas de inovar a partir de uma tecnologia já disponível. “*Uma empresa ou um país podem e devem realizar inovações locais em produtos e processos já conhecidos em outros países, absorvendo conhecimento externo, inclusive aquele*

expresso em patentes que caíram em domínio público. É assim que a indústria recicla e inova seus procedimentos e otimiza processos de fabricação.”⁷¹

O diretor-geral da Sociedade Brasileira Pró-Inovação Tecnológica (Protec), Roberto Nicolsky, considera insuficientes as taxas de crescimento do PIB do país (2,9% no ano de 2006). Para um resultado mais imediato, Nicolsky diz que as indústrias de transformação e os serviços qualificados têm que assumir a dianteira do desenvolvimento e crescer acima do PIB, o que requer “políticas públicas focadas na agregação de valor pela incorporação imediata de inovações tecnológicas incrementais, que proporcionam pequenas melhorias competitivas.”⁷²

Destaca-se, por fim, que além de investir em pesquisa, desenvolvimento e inovação em N&N, é preciso enfatizar também a disseminação de informações sobre o assunto junto à sociedade, incentivando-a a refletir sobre riscos e benefícios. Segundo Foladori, as propostas latino-americanas em N&N têm três falhas principais: não chamam a sociedade a participar dos debates e decisões; não realizam estudos sobre riscos à saúde e ao meio ambiente nem sobre implicações éticas; e não consideram os possíveis impactos socioeconômicos.⁷³

Recentemente, o MCT, em parceria com a Academia Brasileira de Ciências, promoveu a pesquisa Percepção Pública da Ciência e Tecnologia. O estudo tinha como objetivo principal avaliar o interesse, o grau de informação e as atitudes dos brasileiros em relação à ciência e à tecnologia. Mais de 2 mil adultos foram consultados. Mais de 40% disseram ter muito interesse por ciência e tecnologia. Contudo, 73% relataram se informar pouco ou nada sobre ciência e tecnologia. A principal razão apontada pelos entrevistados foi que não entendiam esses assuntos. Além disso, 84% responderam que não conheciam nenhuma instituição dedicada a fazer pesquisa científica no Brasil.⁷⁴ Não espantaria, portanto, se os brasileiros não soubessem o que é nanotecnologia e se também desconhecêssem que ela vem sendo pesquisada e desenvolvida no país.

No Brasil, ainda não foi feita uma pesquisa desse tipo especificamente sobre a percepção pública das N&N. Porém, a experiência da *NanoAventura*, exposição itinerante sobre nanotecnologia do Museu Exploratório de Ciências da Unicamp, sugere que os visitantes têm “uma boa recepção para uma tecnologia ainda desconhecida.”⁷⁵

Conclui-se que o Brasil, ao longo de duas décadas de trabalho em N&N, tem bons indicadores de produção científica na área e indicadores de inovação que, embora não sejam tão bons, já demonstram potencial de crescimento, sendo fundamental que todos os avanços sejam acompanhados por medidas de divulgação científica e participação social.

REFERÊNCIAS

- Ball, P.; *Nature* **2006**, *442*, 500.
- Rey, L.; *Dicionário de Termos Técnicos de Medicina e Saúde*, 2ª ed., Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 2003.
- http://mesonpi.cat.cbpf.br/desafios/pdf/Folder_Nanotecnologia_BaixaRes.pdf, acessada em Outubro 2007.
- Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering: London, 2004; <http://www.raeng.org.uk/policy/reports/nanoscience.htm>, acessada em Março 2008.
- Alves, O. L.; *Parc. Estrat.* **2004**, *18*, 23.
- Duran, N.; Mattoso, L. H. C.; Morais, P. C.; *Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*, Artliber: São Paulo, 2006.
- Toma, H. E.; *Parc. Estrat.* **2004**, *18*, 87.
- Silva, A. C.; *ASPJ Em Português* **2004**, *1º trim.*; <http://www.airpower.maxwell.af.mil/apjinternational/apj-p/2004/1tri04/silva.html>, acessada em Agosto 2006.
- Alves, O. L. Em *Estudos estratégicos Nanotecnologia*; Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República: Brasília, 2004/2005, parte II; http://www.nae.gov.br/doc/estudos_estrategicos/estudo_nanotecnologia.pdf, acessada em Outubro 2007.
- <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano03.htm>, acessada em Junho 2006.
- Service, R. F.; *Science* **2007**, *315*, 926.
- Feynman, R. P.; *Há mais espaços lá embaixo*; <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano19.htm>, acessada em Junho 2006.
- Regis, E.; *Nano – A ciência emergente da nanotecnologia: refazendo o mundo – molécula por molécula*, Rocco: Rio de Janeiro, 1997.
- Whitesides, G. M.; *Scientific American* **2001**, *285*, 78.
- Binning, G.; *Phys. Rev. Lett.* **1982**, *49*, 57.
- Eigler, D. M.; Schweizer, E. K.; *Nature* **1990**, *344*, 524.
- <http://www.nano.gov/html/about/history.html>, acessada em Fevereiro 2007.
- http://memoria.cnpq.br/noticias/noticia05_040401.htm, acessada em Julho 2006.
- Diretrizes de PITCE*, Governo Federal: Brasília, 2003; <http://desenvolvimento.gov.br/arquivo/ascom/apresentacoes/Diretrizes.pdf>, acessada em Outubro 2006.
- Melo, C. P.; Pimenta, M.; *Parc. Estrat.* **2004**, *18*, 9.
- Toma, H. E.; *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século*, Oficina de Textos: São Paulo, 2004.
- Fernandes, M. F. M.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- Lemos, C. Em *Informação e Globalização na Era do Conhecimento*; Lastres, H. M. M.; Albagli, S., orgs.; Campus: Rio de Janeiro, 1999, cap. 5.
- Wood, S.; Jones, R.; Geldart, A.; *Nanotechnology: from the science to the social - The social, ethical and economic aspects of the debate*, Economic & Social Research Council: Reino Unido, 2007; http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/Nanotechnology_tcm6-5506.pdf, acessada em Março 2007.
- Suchman, M. C.; *Social Science and Nanotechnology*, University of Wisconsin-Madison: Estados Unidos, 2003; <http://www.ssc.wisc.edu/~suchman/publications/EUnano.pdf>, acessada em Março 2007.
- Sparrow, R.; *Widespread hypocrisy about nanotechnology is a worrying sign*, Friends of the Earth: Austrália, 2007; <http://nano.foe.org.au/filestore2/download/191/Worrying%20hypocrisy%20about%20nanotechnology%20Sparrow%202007.pdf>, acessada em Março 2007.
- Mendes, A. S., comunicação pessoal.
- <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3104&bd=1&pg=1&lg=>, acessada em Março 2007.
- Morais, P. C., comunicação pessoal.
- Santa-Cruz, P., comunicação pessoal.
- <http://www.inovacao.unicamp.br/report/news-pontoquantico.shtml>, acessada em Dezembro 2006.
- Silva, E., comunicação pessoal.
- Baumvol, I., comunicação pessoal.
- Duran, N., comunicação pessoal.
- Galembeck, F., comunicação pessoal.
- Alves, O. L., comunicação pessoal.
- Galembeck, F.; Rippel, M. M. Em *Estudos estratégicos Nanotecnologia*; Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República: Brasília, 2004/2005, parte I; http://www.nae.gov.br/doc/estudos_estrategicos/estudo_nanotecnologia.pdf, acessada em Março 2007.
- Silva, C. G.; Melo, L. C. P., coords.; *Ciência, Tecnologia e Inovação: Desafio para a sociedade brasileira – Livro Verde*, MCT/ABC: Brasília, 2001; <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/18811.html>, acessada em Outubro 2006.

39. Silva, C. G.; Em *Estudos estratégicos Nanotecnologia*; Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República: Brasília, 2004/2005, parte IV; http://www.nae.gov.br/doc/estudos_estrategicos/estudo_nanotecnologia.pdf, acessada em Outubro 2007.
40. Sá, G. F.; *Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia*, MCT: 2003; http://www.mct.gov.br/upd_blob/0002/2361.pdf, acessada em Julho 2006.
41. Brandão, V.; *Brasil Inovador – O desafio empreendedor: 40 histórias de sucesso de empresas que investem em inovação*, IEL/Finep: Brasília, 2006; <http://www.finep.gov.br/dcom/brasilinovador.pdf>, acessada em Março 2008.
42. Duran, N.; *J. Nanobiotechnol.* **2005**, 3, 1.
43. http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_730.html, acessada em Maio 2007.
44. <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=2942&bd=1&pg=1&lg=>, acessada em Maio 2007.
45. http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_803.html, acessada em Maio 2007.
46. Novaes, F. D.; Silva, A. J. R.; Silva, E. Z.; Fazzio, A.; *Phys. Rev. Lett.* **2003**, 90, 036101.
47. Lavine, M. S.; *Science* **2003**, 299, 981.
48. Alves, O. L. Em *Estudos estratégicos Nanotecnologia*; Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República: Brasília, 2004/2005, parte III; http://www.nae.gov.br/doc/estudos_estrategicos/estudo_nanotecnologia.pdf, acessada em Outubro 2007.
49. Swart, J., comunicação pessoal.
50. http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2006/lqes_news_novidades_888.html, acessada em Junho 2007.
51. *Relatório Nanotecnologia: Investimentos, Resultados e Demandas*, MCT: 2006; http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8075.pdf, acessada em Agosto 2006.
52. *Pesquisa de Inovação Tecnológica 2005*, IBGE: Rio de Janeiro, 2007; <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pintec/2005/pintec2005.pdf>, acessada em Março 2008.
53. Knobel, M., comunicação pessoal.
54. Galembek, F.; *II Feira e Congresso Internacional de Nanotecnologia*, São Paulo, Brasil, 2006; <http://www.rjrconsultores.com.br/nano/fg2.pdf>, acessada em Novembro 2006.
55. http://www.labjor.unicamp.br/midiaciencia/noticias.php3?id_article=382, acessada em Abril 2007.
56. <http://www.oboticario.com.br>, acessada em Abril 2007.
57. <http://www.santistatextil.com.br>, acessada em Abril 2007.
58. <http://www.suzanopetroquimica.com.br>, acessada em Maio 2007.
59. <http://www.plastico.com.br/revista/pm386/noticias2.html>, acessada em Maio 2007.
60. <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=47604>, acessada em Junho 2007.
61. <http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL27012-5603-2723,00.html>, acessada em Maio 2007.
62. http://www.tramaweb.com.br/cliente_ver.asp?Cod_cli=75&Cod_Not=4029, acessada em Maio 2007.
63. <http://www.taiff.com.br>, acessada em Abril 2007.
64. <http://www.nanox.com.br>, acessada em Maio 2007.
65. http://www.finep.gov.br/premio/index.php?_c=noticia&_a=noticia&id=4733601&paginaAtual=, acessada em Março 2008.
66. <http://epocanegocios.globo.com/Revista/Epocanegocios/0,,EDG76598-8385-1-2,00.html>, acessada em Abril 2007.
67. Arouca, M. C.; *II Feira e Congresso Internacional de Nanotecnologia*, São Paulo, Brasil, 2006; <http://www.rjrconsultores.com.br/nano/mca2.pdf>, acessada em Novembro 2006.
68. *Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE 2 anos*, ABDI: Brasília, 2006; http://www.mct.gov.br/upd_blob/0008/8052.pdf, acessada em Setembro 2006.
69. *Onde e Como Buscar Apoio à Inovação Tecnológica para sua Empresa*, Fiesp: São Paulo, 2006; http://www.fiesp.com.br/download/pesquisa/estimulos_inov_tecno3e4.pdf, acessada em Março 2008.
70. Mirra, E.; *J. Braz. Chem. Soc.* **2006**, 17, 7, Editorial; <http://www.scielo.br/pdf/jbchs/v17n7/00.pdf>, acessada em Maio 2007.
71. <http://www.abifina.org.br/factoNoticia.asp?cod=139>, acessada em Maio 2007.
72. Nicolisky, R.; *Destravando o crescimento*; <http://www.protec.org.br/artigos.asp?cod=60>, acessada em Maio 2007.
73. Foladori, G.; *Nanoscience and nanotechnology in Latin America*; <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=767.php>, acessada em Maio 2007.
74. Moreira, I. C.; Massarani, L., coords.; *Percepção Pública da Ciência e Tecnologia*, MCT: 2007; http://www.mct.gov.br/upd_blob/0013/13511.pdf, acessada em Maio 2007.
75. Murriello, S.; *Ciência e Cultura* **2007**, 59, 18, <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n1/a10v59n1.pdf>, acessada em Abril 2007.