



# **Nanociência e Nanotecnologia**

*Modelando o futuro átomo por átomo*

**Uma nova revolução tecnológica está em curso.** Trata-se da nanociência e da nanotecnologia, áreas com vasta gama de aplicações, que vão da produção de alimentos e fármacos capazes de melhorar a qualidade de vida das populações à criação de materiais com propriedades inusitadas e computadores ultravelozes baseados em fenômenos atômicos. Por essas razões, essas áreas são consideradas estratégicas para o desenvolvimento do país.

A nanociência e a nanotecnologia são intrinsecamente multidisciplinares. Os projetos nessas áreas são freqüentemente desenvolvidos por laboratórios e grupos de pesquisa estruturados em redes, o que estimula a integração das instituições e soma esforços e competências.

- 50. | **DOMANDO A MATÉRIA** | ESCAVAÇÃO PROFUNDA | ESTRUTURA FRAGMENTADA | MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO | VIAGEM FANTÁSTICA
- 52. | **O NANOUNIVERSO** | NA ESCALA DO BILIONÉSIMO | DO ÁTOMO AO VÍRUS | MAIS QUE MINIATURIZAR | MODELOS NA NATUREZA | NÃO SÓ IMITAR
- 54. | **FEITOS E PROMESSAS** | PRINCIPAL CANDIDATO | MARCO EXPERIMENTAL | LISTA DE PROMESSAS | EM LARGA ESCALA
- 56. | **NO MUNDO** | IMPACTO GLOBAL | NOVA EDUCAÇÃO
- 57. | **NO BRASIL** | MELHOR INFRA-ESTRUTURA | DIVERSIDADE DE TEMAS | EM REDE | CAPACIDADE BEM SÓLIDA | PRODUÇÃO NACIONAL
- 60. | **AVENTURA NANOSCÓPICA** | EXPOSIÇÃO INTERATIVA | JOGOS, VÍDEOS, EFEITOS, MÚSICA... | POR TODO O BRASIL
- 61. | **COMO SERÁ O FUTURO?** | A REVOLUÇÃO COMEÇOU

---

EDITORES CIENTÍFICOS | Ernesto Kemp (Instituto de Física Cleb Wataghin/Universidade Estadual de Campinas) | Henrique Lins de Barros (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) | João dos Anjos (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) | Marcelo Knobel (Instituto de Física Cleb Wataghin/Universidade Estadual de Campinas) | Sandra Murtiello (Museu Exploratório de Ciências de Campinas/Universidade Estadual de Campinas)

# DOMANDO A MATÉRIA

## ESCAVAÇÃO PROFUNDA

O homem subjugou a pedra, a argila, o ferro, o aço e, mais recentemente, o silício dos chips de computadores, transformando estas substâncias, entre tantas outras, em matérias-primas. Porém, só no século 19 ele iniciou sua escavação profunda rumo à escala atômica, quando extraiu da matéria sua primeira partícula elementar, o elétron.

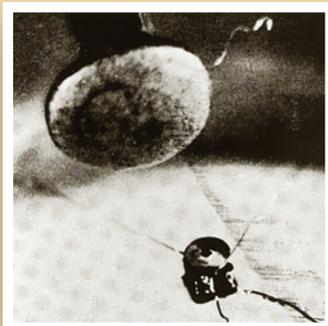
## ESTRUTURA FRAGMENTADA

No século passado, a matéria foi imensamente fragmentada, e os estilhaços foram capturados, estudados e batizados. Prótons, nêutrons, mésons, neutrinos, quarks e bósons integram uma lista que inclui centenas de partículas. Assim, o Homo sapiens, quase 200 mil anos depois de seu surgimento, aprofundou sua viagem rumo ao coração da matéria – e isso mesmo antes de conhecer detalhes do interior do planeta que o abriga.

## MAIS ESPAÇO LÁ EMBAIXO

Ainda em 1959, o físico norte-americano Richard Feynman (1918-1988) – que, por sinal, havia trabalhado pouco antes no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro (RJ) –, propôs, por meio da palestra “Há muito mais espaço lá embaixo”, uma nova relação do homem com a matéria: usar átomos e moléculas como ti-

CALTECH ARCHIVES



Motor miniaturizado comparado à cabeça de um alfinete

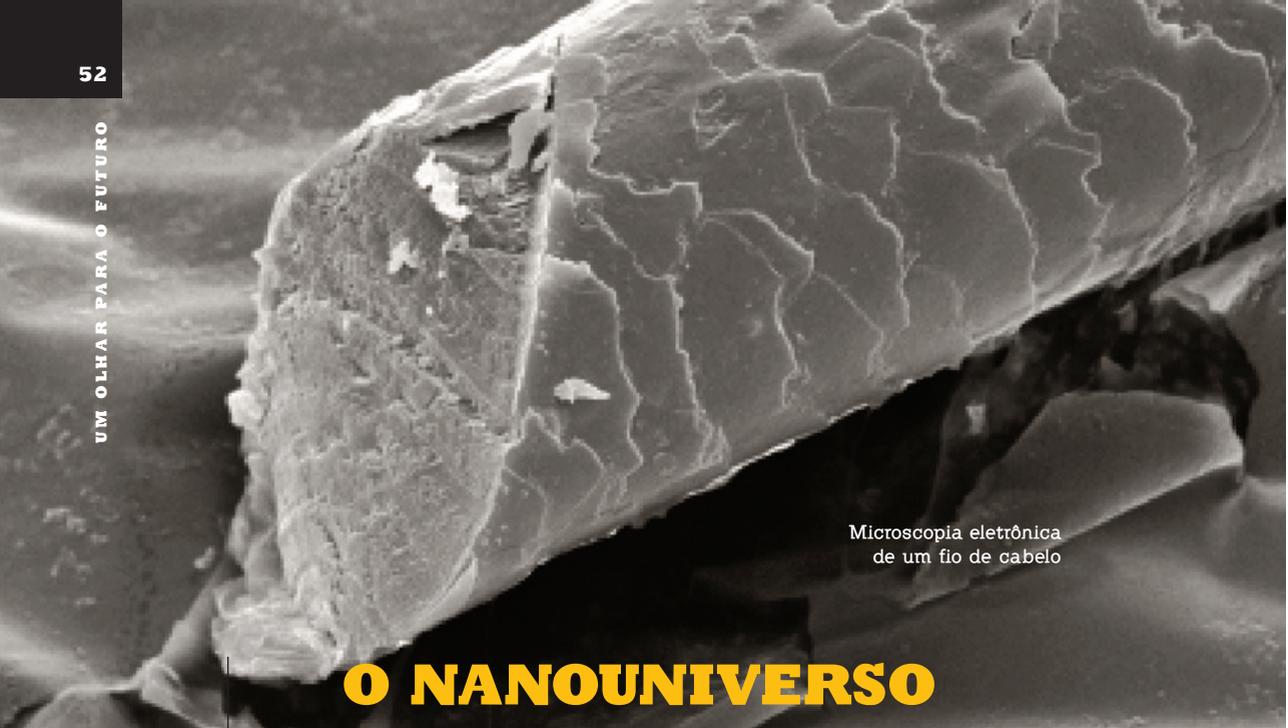


Almoço durante uma das visitas do físico norte-americano Richard Feynman ao Brasil. À esquerda da mesa, na ordem, Roberto Salmeron, Gabriel Fialho, Francisco Oliveira Costa, Gerard Hepp, Álvaro Diffini, César Lattes, Antonio José da Costa Nunes, Ugo Camerini, José Leite Lopes, Paulo Emídio Barbosa e Homero L. César. À direita, na ordem, Homero Brandão, Henry British Lins de Barros, Nelson Lins de Barros, Neusa Margem (depois Amato), Feynman, Elisa Frota-Pessôa, Guido Beck, Helmut Schwartz, Jayme Tiomno, Reinhard Oehme e George Rawitscher

jolos para a construção de diminutos artefatos. Hoje, essas idéias são tidas como o marco de fundação de duas áreas: a nanociência e a nanotecnologia.

### VIAGEM FANTÁSTICA

Como resposta a um desafio proposto por Feynman, foi construído um motor com 0,38mm de diâmetro. Nessa época, a imaginação popular em relação às possibilidades da escala atômica começou a ser capturada com o lançamento do livro *Viagem fantástica*, de Isaac Asimov (1920-1992), em que uma nave e sua tripulação são miniaturizadas e injetadas no corpo de um cientista. Objetivo da missão: destruir um coágulo sangüíneo e salvar a vida do paciente. Essa obra tornou-se um clássico da ficção científica e fonte de inspiração para uma geração.



Microscopia eletrônica  
de um fio de cabelo

## O NANOUNIVERSO

### NA ESCALA DO BILIONÉSIMO

Há várias definições para nanociência e nanotecnologia, mas basicamente essas áreas lidam com o projeto, a manipulação, a produção e a montagem no nível atômico e molecular, ou seja, na escala do bilionésimo de metro (ou nanômetro). O conjunto de técnicas usadas para isso vem (e virá) da integração da física, da química, da biologia, das engenharias e da modelagem computacional.

### DO ÁTOMO AO VÍRUS

O bilionésimo é representado pelo prefixo nano (“anão”, em grego) ou matematicamente por  $10^{-9}$  (0,000000001). As dimensões típicas da nanociência e da nanotecnologia vão de 0,1 nanômetro (0,1nm) a 100 nanômetros (100nm), ou seja, do tamanho de um átomo até o de um vírus. Para se ter uma idéia de comparação, um fio de cabelo humano tem espessura de cerca de 30 mil nm.

### MAIS QUE MINIATURIZAR

A nanociência e a nanotecnologia prometem tornar as coisas menores, mais rápidas, mais fortes e mais eficientes. Porém, isso não deve ser confundido com miniaturizar o que já foi inventado. O cerne dessas áreas está em entender e domar o comportamento da matéria na escala nanométrica, pois se sabe que as propriedades macroscópicas e nanoscópicas da matéria muitas vezes diferem diametralmente, a ponto de o comportamento nessas duas escalas ser oposto – por exemplo, o que repele passa a atrair.

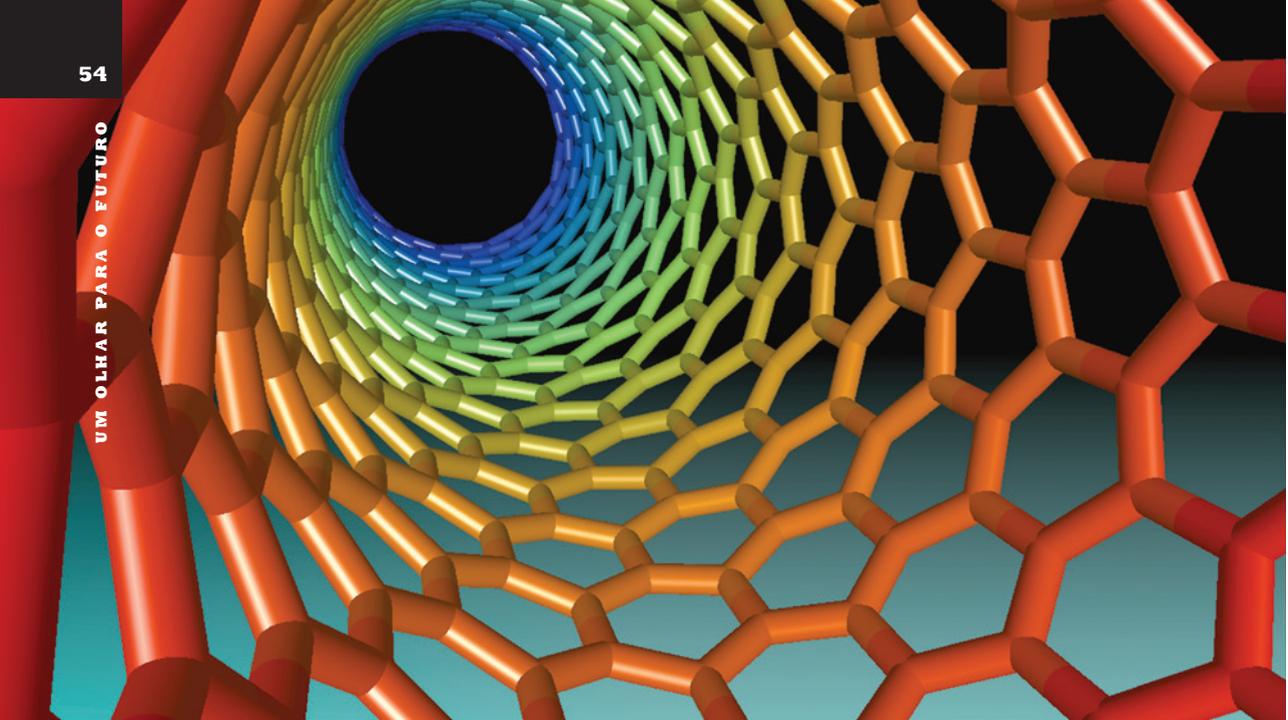
### MODELOS NA NATUREZA

Os processos biológicos são fonte de inspiração para os pesquisadores da nanociência e da nanotecnologia. Razão: nos últimos milhões de anos, a evolução tem sido a grande nanoartesã, ao arrancar, capturar, colocar ou deslocar átomos com extrema precisão – técnica que o homem só aprendeu há poucas décadas, com o advento de microscópios especiais capazes de funcionar como guindastes para o mundo atômico.



### NÃO SÓ IMITAR

A natureza produz equipamentos de extrema engenhosidade. Por exemplo, flagelos de bactérias são nanomotores que funcionam alimentados com prótons. O DNA (material genético) é um “disco rígido” que armazena as informações de um indivíduo. Contudo, não se trata apenas de imitar esses feitos: em muitos casos, será necessário aperfeiçoar os mecanismos biológicos conhecidos, para dar novas funções aos inventos. Tarefa mais árdua ainda: desenvolver técnicas para reproduzir em escala industrial (ou seja, com precisão e controle de qualidade) o que for desenvolvido no laboratório.



## FEITOS E PROMESSAS

### PRINCIPAL CANDIDATO

Para muitos especialistas, a ciência e a tecnologia do bilionésimo de metro será a próxima revolução tecnológica da humanidade, tendo como candidato a principal matéria-prima o elemento químico carbono, que forma materiais tão díspares quanto o carvão e o diamante.

### MARCO EXPERIMENTAL

Em 1989, trinta anos depois da palestra de Feynman, a nanotecnologia obteve um grande feito experimental: cientistas da IBM escreveram o nome dessa empresa norte-americana sobre uma placa de níquel, usando 35 átomos de xenônio. De lá para cá, esse tipo de “Lego nanoscópico” tornou-se uma técnica comum, demonstrando que o mundo nanoscópico poderia ser (re)modelado.

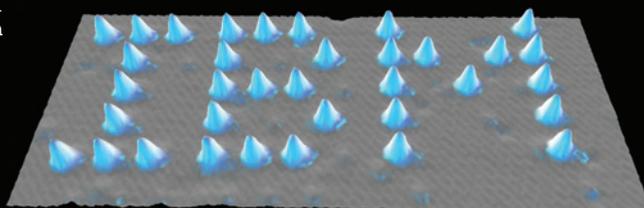
## LISTA DE PROMESSAS

É comum que toda jovem revolução tecnológica venha acompanhada tanto de entusiasmo quanto de uma lista de promessas. A nanotecnologia não é exceção. Alguns itens dessa lista: • computadores capazes de calcular, em segundos, tarefas que levariam bilhões de anos para a mais avançada dessas máquinas de hoje; • materiais mais leves e resistentes para a construção de casas, edifícios, navios, aviões e espaçonaves; • nanochips para monitorar as condições do interior do corpo humano; • anticorpos sintéticos capazes de atacar e destruir vírus, bactérias ou células cancerígenas; • nanoímãs que, guiados por um campo magnético externo, seriam levados a qualquer parte do corpo humano, carregando medicamentos; • componentes eletrônicos formados por uma única molécula; • telas de TV dobráveis; • tecidos para roupas que poderiam mudar de cor, endurecer ou se auto-regenerar; • nanorrobôs para desobstruir vasos sanguíneos.

## EM LARGA ESCALA

Hoje, em larga escala, estão sendo produzidas nanopartículas (empregadas na fabricação de cosméticos, tintas, revestimentos, aços, absorvedores de odores etc.) e nanotubos, usados em sensores para gases e substâncias tóxicas. Em 2003, havia algo em torno de 500 fábricas desses produtos no planeta.

Logotipo da empresa escrito com átomos de xenônio



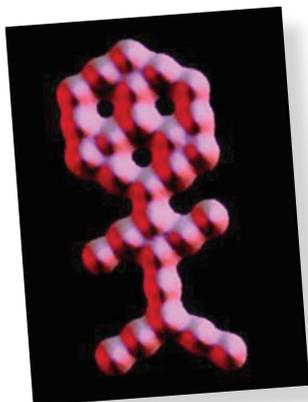
# NO MUNDO

## IMPACTO GLOBAL

Estima-se que, por volta de 2015, a produção industrial global em nanotecnologia atinja US\$ 1 trilhão. O número de empregos nessa área chegaria a 2 milhões. Setores como a indústria de semicondutores passariam a ser totalmente dependentes de técnicas e produtos da nanotecnologia. O impacto dessas novas tecnologias seria elevado também no ramo químico e farmacêutico. Hoje, estima-se que o total de recursos governamentais e privados aplicados nessas áreas atinjam a casa dos US\$ 5 bilhões por ano.

## NOVA EDUCAÇÃO

Os Estados Unidos, a Comunidade Européia, a Coreia do Sul e o Canadá já lançaram programas educacionais para formar os nanocientistas e nanotecnólogos do futuro. Uma das ações é remodelar currículos, dos primeiros anos escolares às universidades. Revoluções tecnológicas trazem embutida uma regra: quem se adaptar primeiro sairá na frente e conquistará mais mercados.



"Homem atômico"

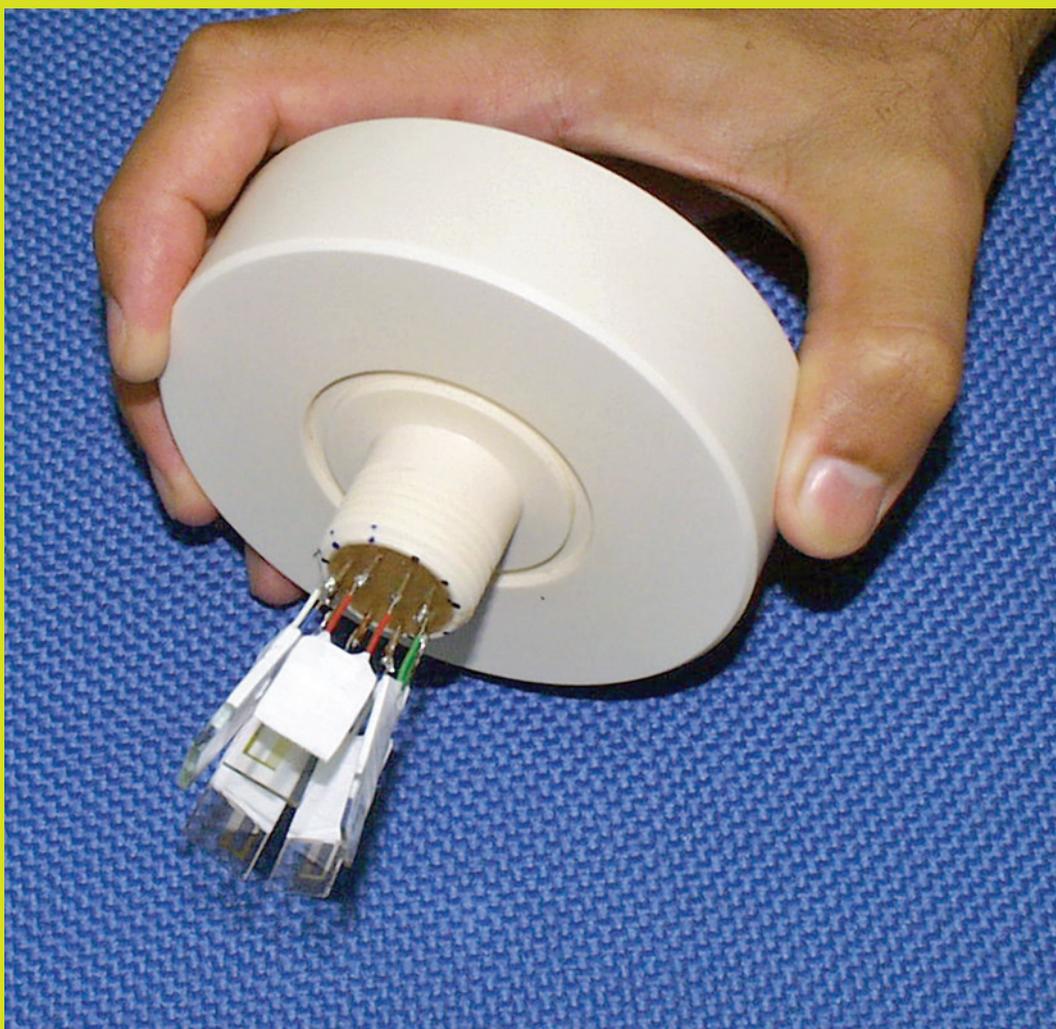
# NO BRASIL

## MELHOR INFRA-ESTRUTURA

A infra-estrutura do Brasil é a melhor da América Latina quando se trata de nanociência e nanotecnologia. Neste início de século 21, estima-se que haja cerca de mil pesquisadores trabalhando nessas áreas. E também há uma experiência educativa em andamento, na forma de uma exibição itinerante que aborda os conceitos básicos da nanociência e da nanotecnologia (ver “NanoAventura”).

## DIVERSIDADE DE TEMAS

As pesquisas em nanociência e nanotecnologia no Brasil englobam grande diversidade de temas: nanobiotecnologia, química supramolecular, nanomagnetismo, semicondutores, nanoobjetos (em particular, nanotubos de carbono), sensores, instrumentação e teoria. Essas pesquisas envolvem equipes multidisciplinares e a necessidade de colaboração entre elas. Há diversos pólos que se destacam nessas pesquisas: o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio de Janeiro (RJ), o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, em Campinas (SP), a Universidade Estadual de Campinas (SP), a Universidade de São Paulo, a Universidade Federal de São Carlos (SP), a Universidade Federal de Minas Gerais, a Universidade Federal de Pernambuco, a Universidade Federal de Santa Catarina, a Universidade Federal do Rio de Janeiro e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



## EM REDE

As diversas áreas e instituições têm se organizado em redes temáticas para realizar pesquisas de ponta em nanociência e nanotecnologia: • Rede de Materiais Nanoestruturados; • Rede de Nanotecnologia Molecular e de Interfaces; • Rede de Pesquisa em Nanotecnologia; • Rede Cooperativa para a Pesquisa em Nanodispositivos Semicondutores e Materiais Nanoestruturados.

Na página ao lado,  
"língua eletrônica",  
desenvolvida pela Empresa Brasileira  
de Pesquisa Agropecuária  
e capaz de detectar sabores  
(doce, salgado, amargo e azedo)

### **CAPACIDADE BEM SÓLIDA**

Além dessas redes nacionais, há diversos grupos autônomos de pesquisa atuando nessas áreas, bem como projetos específicos (financiados pelas agências estaduais de fomento científico) e os de grande escala, como o Instituto do Milênio de Nanotecnologia. Aprovado em janeiro de 2002 e reunindo cerca cem pesquisadores de trinta instituições, esse instituto virtual tem como ênfase os chamados materiais nanoestruturados (ou seja, formados por camadas nanométricas de átomos ou moléculas). Há também projetos individuais e redes menores no âmbito de colaborações nacionais e internacionais. Em resumo: há uma capacidade científica bem sólida instalada no Brasil nessas duas áreas.

### **PRODUÇÃO NACIONAL**

Produtos que empregam matérias-primas nanoscópicas já estão surgindo no Brasil. Dois exemplos: um dosímetro pessoal para a radiação ultravioleta solar, fabricado pela empresa Ponto Quântico, em Recife (PE), e a "língua eletrônica", desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e capaz de detectar sabores (doce, salgado, amargo e azedo).



FOTOS NANOAVENTURA

## AVENTURA NANOSCÓPICA

### EXPOSIÇÃO INTERATIVA

A NanoAventura ([www.nanoaventura.org.br](http://www.nanoaventura.org.br)) é uma exposição interativa desenvolvida para atrair o interesse do público infantil e adolescente para a nanociência e a nanotecnologia. Trata-se da primeira exposição organizada pelo Museu Exploratório de Ciências da Universidade Estadual de Campinas, realizada em parceria com o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), com apoio da Fundação Vitae e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp).

Nas fotos acima, alunos participando do NanoAventura

### JOGOS, VÍDEOS, EFEITOS, MÚSICA...

Noções básicas do nanomundo, como o conceito de escala e medida, bem como a observação e a manipulação de átomos e moléculas, são apresentadas por meio de diversas técnicas de comunicação e imersão. A proposta é que os visitantes da NanoAventura vivenciem uma experiência lúdica e educativa que integra elementos reais e virtuais e que combina jogos eletrônicos, vídeos, projeções 3D, performances, efeitos especiais e músicas.

### POR TODO O BRASIL

Preparada para ser itinerante, a NanoAventura foi inaugurada em abril de 2005 e já passou por várias cidades brasileiras, entre elas Campinas (SP), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Porto Alegre (RS), sendo visitada por dezenas de milhares pessoas.

## COMO SERÁ O FUTURO?

### A REVOLUÇÃO COMEÇOU

Depois da agricultura, indústria e microeletrônica, a próxima revolução tecnológica já tem nome: nanotecnologia. E se espera que ela tenha um impacto social superior ao de suas antecessoras. Desde já, especialistas, empresas e organizações não governamentais discutem as implicações socioambientais – e mesmo éticas – dessa nova área. É arriscado falar sobre o futuro, mas tudo indica que a nanociência e a nanotecnologia serão parte dele. E essa revolução já começou.