



COMISSÃO  
EUROPEIA

Investigação comunitária

# Nanotecnologias

## Inovações para o mundo de amanhã



NANOTECNOLOGIAS E NANOCIÊNCIAS, MATERIAIS  
MULTIFUNCIONAIS BASEADOS NO CONHECIMENTO E NOVOS  
PROCESSOS E DISPOSITIVOS DE PRODUÇÃO

## **A investigação europeia interessa-lhe?**

**RDT info** é a nossa revista trimestral, que o mantém a par dos principais avanços (resultados, programas, eventos) em matéria de investigação e desenvolvimento. Está disponível em inglês, francês e alemão. Podem ser pedidos exemplares ou assinaturas, a título gratuito, a:

Comissão Europeia  
Direcção-Geral da Investigação  
Unidade de Informação e Comunicação  
B-1049 Bruxelles  
Fax (32-2) 29-58220  
E-mail: [research@cec.eu.int](mailto:research@cec.eu.int)  
Internet: [http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index\\_fr.html](http://europa.eu.int/comm/research/rtdinfo/index_fr.html)

## **Editor: COMISSÃO EUROPEIA**

Direcção-Geral da Investigação  
Direcção G — Tecnologias Industriais  
Unidade G.4 — Nanociências e nanotecnologias

Contactos: Dr. Renzo Tomellini, Dra. Angela Hullmann

E-mails: [renzo.tomellini@cec.eu.int](mailto:renzo.tomellini@cec.eu.int), [angela.hullmann@cec.eu.int](mailto:angela.hullmann@cec.eu.int)

Url: [www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)

# Nanotecnologias

## *Inovações para o mundo de amanhã*

A presente brochura tem origem num projecto financiado pelo Ministério Alemão Federal de Educação e Investigação (BMBF) concretizado pelo Centro de Tecnologia da Associação Alemã de Engenheiros (VDI-TZ). A Comissão Europeia agradece ao BMBF a autorização de tradução desta publicação e sua divulgação ao público europeu. À Dra. Rosita Cottone (BMBF) e ao Dr. Wolfgang Luther (VDI-TZ), é devido um especial apreço pela sua assistência na coordenação.



A versão original alemã pode ser consultada no sítio Internet <http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>.

**Publicação:** Comissão Europeia, DG Investigação

**Produção:** Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF, Berlin

**Coordenação:** VDI (Divisão de Tecnologias do Futuro), Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf

**Autor:** Dr. Mathias Schulenburg, Köln

**Configuração:** Suzy Coppens, BergerhofStudios, Köln

*Europe Direct (Europa em Directo) é um serviço que o ajuda a encontrar  
resposta às suas perguntas sobre a União Europeia*

Número de telefone gratuito:  
**00800 6 7 8 9 10 11**

**AVISO NOS TERMOS DA LEI**

A Comissão Europeia ou qualquer pessoa agindo em seu nome declinam responsabilidade pela eventual utilização da informação que se segue.

Os pontos de vista expressos na presente publicação são da exclusiva responsabilidade do autor e não reflectem necessariamente o ponto de vista da Comissão Europeia.

Pode ser obtida informação adicional sobre a União Europeia no servidor Europa da Internet (<http://europa.eu.int>).

Os dados de catalogação figuram no final da publicação.

Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2004

ISBN 92-894-8890-5

© Comunidades Europeias, 2004

Reprodução autorizada mediante indicação da fonte.

*Printed in BELGIUM*

IMPRESSO EM PAPEL BRANCO ISENTO DE CLORO

# Prefácio

A nanotecnologia é uma nova técnica relativa ao estudo e ao controlo das propriedades da matéria à escala nanométrica: um nanómetro (milésima milionésima parte do metro) é o comprimento de uma pequena molécula. A esse nível, a matéria exhibe propriedades diferentes muitas vezes surpreendentes, desvanecendo-se as fronteiras entre as áreas técnico-científicas estabelecidas – resultando no carácter fortemente interdisciplinar associado às nanotecnologias.

As nanotecnologias caracterizam-se, muitas vezes, como potencialmente “disruptivas” ou “revolucionárias”, em termos do seu possível impacto no domínio da produção industrial. As nanotecnologias oferecem soluções possíveis para muitos problemas actuais, por meio de materiais, componentes e sistemas menores, mais leves, mais rápidos e mais eficazes, abrindo deste modo novas oportunidades para criar riqueza e emprego. Prevê-se também que as nanotecnologias dêem alguns contributos essenciais para a resolução de problemas do mundo e do ambiente mediante a criação de produtos e processos mais adaptados à utilização final, possibilitando a economia de recursos e a redução de resíduos e emissões.

Registam-se neste momento enormes progressos na corrida mundial às nanotecnologias. A Europa foi dos primeiros investidores, com numerosos programas de nanociência iniciados entre meados e finais da década de 1990. Subsequentemente, criou uma forte base de conhecimento, cujos benefícios devem agora assegurar à indústria e à sociedade europeias o desenvolvimento de novos produtos e processos.

As nanotecnologias são o tema de uma recente comunicação da Comissão (‘Para uma Estratégia Europeia sobre Nanotecnologias’), na qual se propõe, não só o incentivo à investigação em nanociências e nanotecnologias, mas também a consideração de várias outras dinâmicas interdependentes:

- Melhor coordenação dos programas e investimentos nacionais em investigação, de modo a prover igualmente a Europa de equipas e infra-estruturas (“pólos de excelência”) capazes de competir a nível internacional. Em paralelo, é essencial a colaboração entre organismos de investigação nos sectores público e privado de toda a Europa, para alcançar uma massa crítica suficiente.
- Outros factores de competitividade não devem ser negligenciados, como sendo a metrologia, regulamentação e direitos de propriedade intelectual adequados, de modo a preparar o caminho para a inovação industrial e obter vantagens concorrenciais, quer para as grandes quer para as pequenas e médias empresas.
- As actividades relacionadas com ensino e formação são de grande importância. Na Europa, há nomeadamente, margem para melhorar o carácter empresarial dos investigadores, bem como para modificar a atitude positiva dos técnicos de produção. A concretização de uma verdadeira investigação interdisciplinar em nanotecnologias pode igualmente exigir novas estratégias de ensino e formação para a investigação e a indústria.
- Os aspectos sociais (como informação e comunicação ao público, questões de saúde e ambiente e avaliação de riscos) são outros factores fundamentais para assegurar um desenvolvimento responsável das nanotecnologias e resposta às expectativas que os cidadãos nelas depositam. A confiança do público e dos investidores nas nanotecnologias será crucial para o seu desenvolvimento e a sua aplicação frutuosa a longo prazo.

A presente brochura visa demonstrar o que a nanotecnologia é e o que pode oferecer aos cidadãos europeus.

Ezio Andreta  
Director da Direcção “Tecnologias Industriais”  
Direcção-Geral da Investigação  
Comissão Europeia



# Sumário

3 Prefácio

4-5 Sumário

## Viagem ao nanocosmos

6-7 O átomo: ideias antigas e a nova realidade

8-13 Nanotecnologias na Natureza

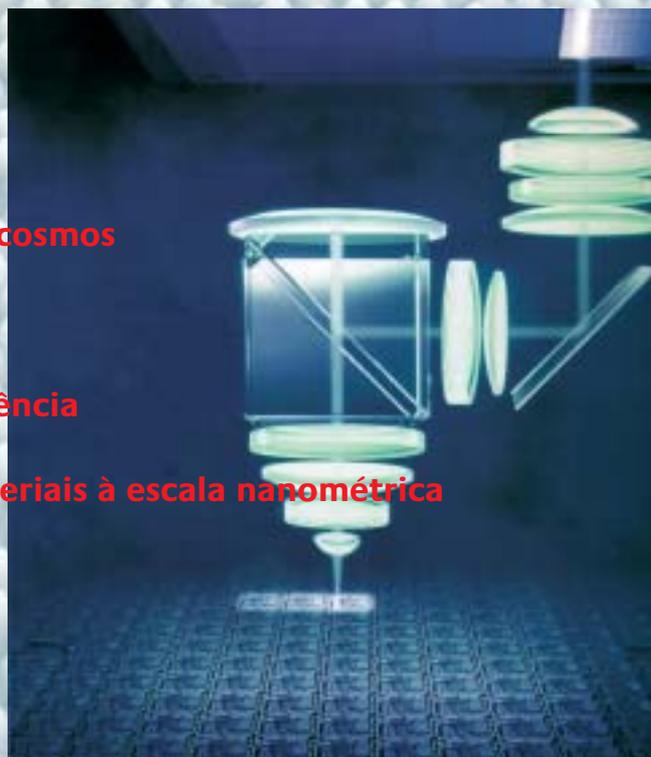
## Instrumentos e processos

14-15 Olhos para o nanocosmos

16-17 Material gráfico

18-19 Impulsos para a ciência

20-21 Concepção de materiais à escala nanométrica



# Nanotecnologias para a sociedade



22-27 **O mundo interligado: nanoelectrónica**

28-29 **Nanotecnologias no quotidiano futuro**

30-33 **Mobilidade**

34-37 **Saúde**

38-41 **Energia e Ambiente**

42-43 **Nanotecnologia para desporto e lazer**

44-45

## Visões

46-47

## Oportunidades e riscos



## Outras informações

48 **Como posso tornar-me nanoengenheiro?**

49 **Contactos, links Internet, bibliografia**

50-51 **Glossário**

52 **Origem das figuras**

# Viagem ao nanocosmos

## O átomo: ideias antigas e nova realidade

Amedeo Avogadro (1776-1856), professor de Física em Turim, que analisou cientificamente a gota de chuva.



O nosso mundo material é composto de átomos. Já há cerca de 2400 anos, o filósofo grego Demócrito defendia esta ideia. Reconhecida, a Grécia moderna gravou a sua efígie na moeda de dez dracmas que, embora abundante, não se compara aos átomos: uma gota de chuva contém 1.000.000.000.000.000.000.000 deles, pois os átomos são minúsculos, com um décimo de nanómetro de comprimento (e o nanómetro, que representamos por nm, é a milionésima parte do milímetro).

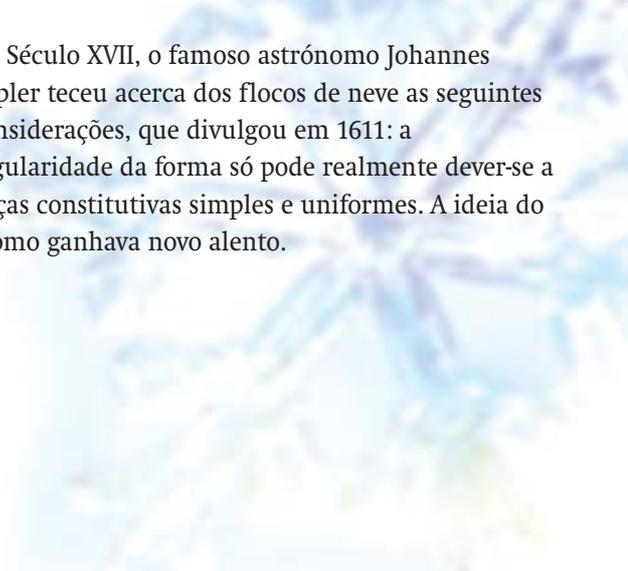
A proporção entre os diâmetros de um átomo de magnésio e de uma bola de ténis é a mesma que entre o diâmetro da bola e o da Terra. Pensemos nisto quando tomarmos uma pílula de magnésio!

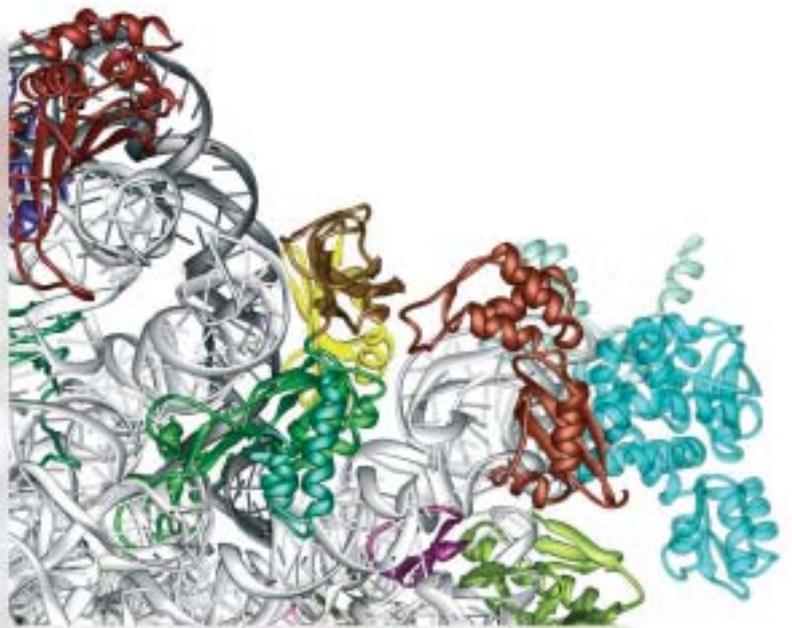


O espírito de Demócrito paira sobre o mundo nanométrico, um oceano de possibilidades infinitas.

Lucrécio, poeta romano, escreveu, alguns séculos mais tarde, as seguintes palavras: *O Universo é um espaço sem limite formado por um número infinito de partículas indivisíveis, os átomos, cuja variedade é porém finita. ... Somente em forma, tamanho e peso se diferenciam. Impenetráveis, imutáveis, fronteira da divisibilidade física...* Como especulação pura, não estava mal. Depois, durante muito tempo, não se pensou em tais coisas.

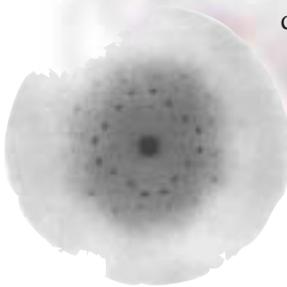
No Século XVII, o famoso astrónomo Johannes Kepler teceu acerca dos flocos de neve as seguintes considerações, que divulgou em 1611: a regularidade da forma só pode realmente dever-se a peças constitutivas simples e uniformes. A ideia do átomo ganhava novo alento.





Biomecanismos nanométricos como os ribossomas são descodificados cristalograficamente pela Prof. Ada Yonath, no centro DESY.

Os sábios que estudavam os minerais e cristais tomavam os átomos cada vez mais a sério. Todavia, só em 1912 se conseguiu, na Universidade de Munique, uma prova directa da sua existência: um cristal de sulfato de cobre dispersava os raios X (ou raios Röntgen) do mesmo modo que o tecido de um guarda-chuva dispersa a luz de um candeeiro. O cristal composto ordenados como os guarda-chuva como pilhas no mercado.

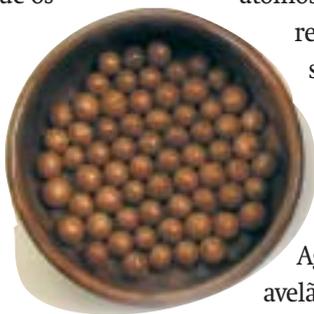


Os instrumentos modernos de análise conseguem já tornar visíveis esses componentes altamente complexos da matéria viva, à escala nanométrica.

Por fim, na década de 1980, conseguiu-se com o microscópio de túnel de varrimento um instrumento por meio do qual podemos ver os átomos individuais de um cristal (houve muita gente que considerou fraudulentas as primeiras imagens) e inclusivamente manipulá-los.

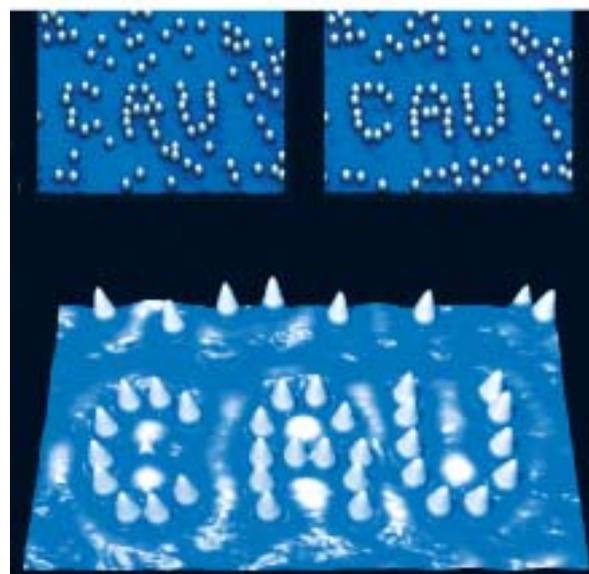
Estava preparado o cenário para um passo importantíssimo: a nanotecnologia.

A razão por que os átomos se dispõem tão regularmente no cristal é simples: a matéria procura a mais cómoda forma possível, e essa é a disposição ordenada. Agitando nozes ou avelãs dentro de uma tigela, elas formam padrões regulares. Para os átomos, o processo é ainda mais fácil.



O Professor Berndt representou o logotipo da Universidade Christian-Albrecht, de Kiel, com átomos de manganês.

No entanto, os padrões simples nem sempre são os mais reproductíveis. Guiada pelas forças de auto-ordenamento, a matéria, ao longo de biliões de anos, foi assumindo na Terra formas extraordinariamente complexas e, por fim, vivas.



## Nanotecnologias na Natureza

Os especialistas em nanotecnologias nutrem especial carinho pela natureza viva, que, em quatro mil milhões de anos de existência, tem encontrado soluções assombrosas para os seus problemas. É típica a seguinte situação: a matéria das estruturas vivas está defenida até ao nível mais depurado, até ao nível atómico. E é isso o que também pretendem os especialistas em nanotecnologias.



**Á**tomo: uma palavra que em geral não suscita simpatia. Sugere explosões violentas, radiações perigosas. Mas isso tem a ver com tecnologias associadas ao *núcleo* do átomo. A escala a que as nanotecnologias intervêm é a da *orla*.

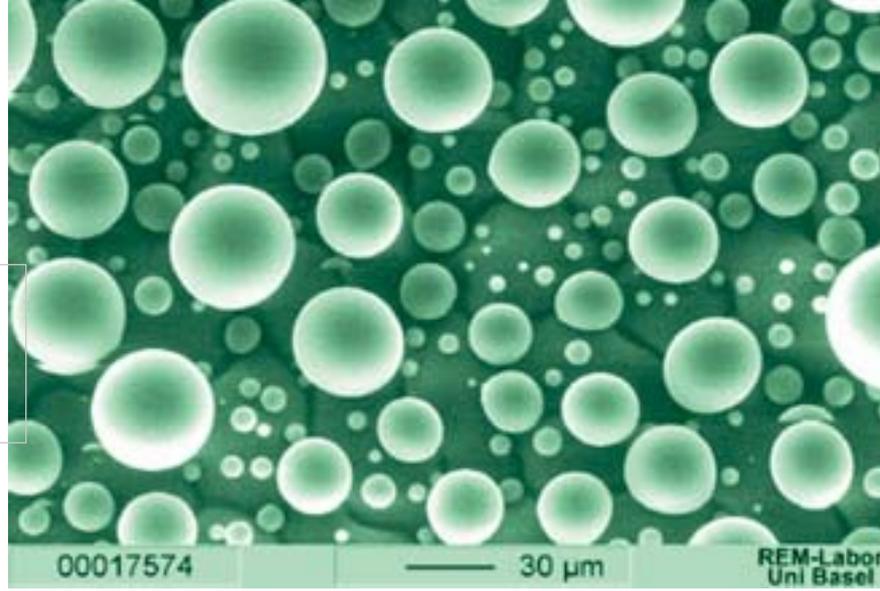
Para eliminar dúvidas de que os átomos são efectivamente triviais e podem até ter bom paladar, escolhemos, para iniciar a descida ao nanocosmos, um queijo.

O mimolette é fabricado na Flandres. A superfície coberta de buraquinhos denuncia que o queijo está habitado. E o produtor não se importa, pois a actividade dos acarídeos beneficia o aroma do mimolette. Os acarídeos são bichinhos com um décimo de milímetro de comprimento. O ESEM, um microscópio electrónico especial, por varrimento, consegue observá-los mesmo em vida. Tal como toda a matéria viva, o organismo de um acarídeo é formado por células, cuja escala é o micrómetro. Uma célula possui uma maquinaria altamente complexa, em que os ribossomas, um dos elementos principais, produzem todas as moléculas proteicas possíveis por intermédio do idioplasma DNA (ordem de grandeza do ribossoma: 20 nm). Partes da estrutura dos ribossomas foram já analisadas até ao nível de átomos individuais. Como primeiros resultados deste tipo de nanobioteχνologia, novos medicamentos que bloqueiam os ribossomas das bactérias.



O lótus limpa as suas pétalas recorrendo ao efeito que recebeu o seu nome, o "efeito lótus".

Gotículas de água numa folha de chagas, ampliadas por um microscópio electrónico especial (ESEM) da Universidade de Basileia.



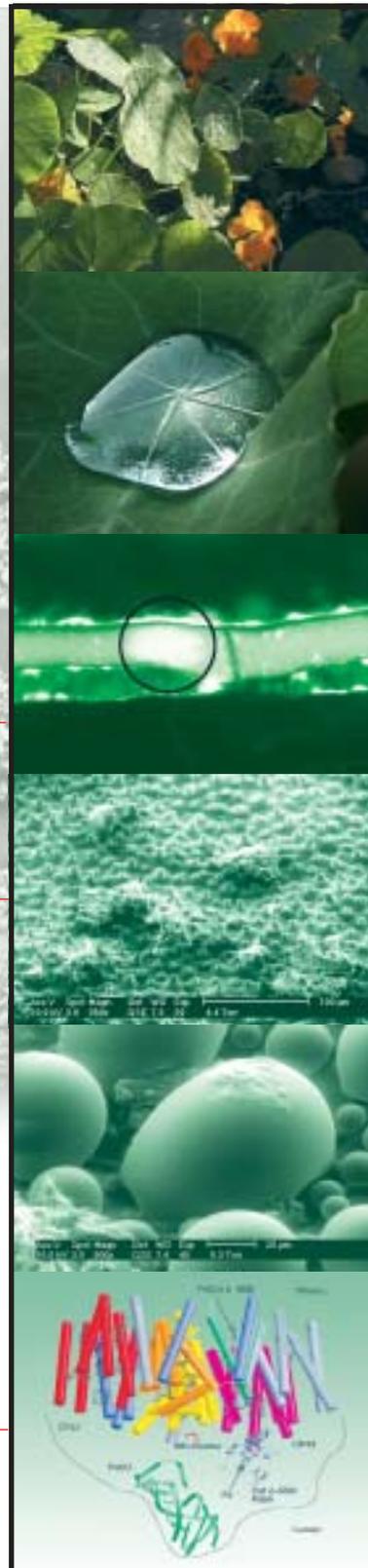
## Efeito lótus & C.<sup>a</sup>

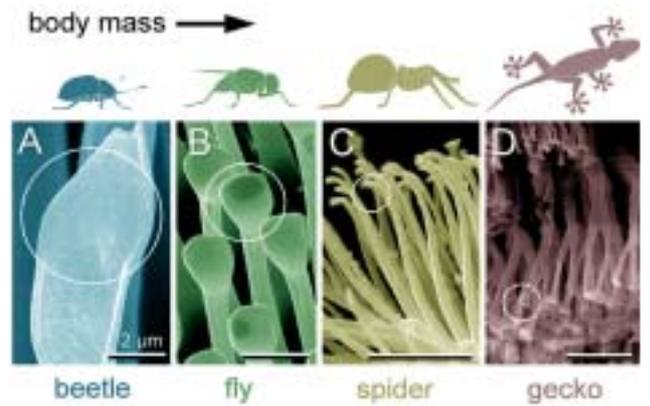
Chagas é o nome de uma planta que mantém as suas folhas limpas por intermédio do chamado "efeito lótus". O microscópio electrónico por varrimento (ESEM) mostra como as gotas de água são repelidas da superfície da folha. Tudo resulta da sua estrutura, que permite à água escorrer mais rapidamente e, desse modo, remover a sujidade.

O "efeito lótus" - investigado com particular minúcia pela equipa do Professor Barthlott na Universidade de Bona - é já aproveitado numa série de produtos, como tintas para revestimento de fachadas, em que a água remove a sujidade por arrastamento. Outro exemplo é a cerâmica sanitária com estrutura "lótus", muito fácil de limpar.

Há mais nanotecnologias nas folhas das plantas. O seu teor em água é frequentemente regulado pelos forissomas, músculos microscópicos que abrem canais no sistema capilar da planta ou, se ela for danificada por algum motivo, os fecham. Três institutos Fraunhofer e a Universidade de Giessen procuram neste momento dar utilidade técnica aos músculos das plantas, eventualmente para motores lineares microscópicos ou para o Lab-on-a-Chip (laboratório num chip).

A técnica mais apurada à escala atómica é a fotossíntese, que capta energia para a vida na Terra. Tem a ver com cada átomo, individualmente. Quem a conseguir copiar à escala nanotecnológica terá energia para a eternidade.





## Caminhar pelo tecto com nanotecnologia: a osga

As osgas trepam qualquer parede, percorrem o tecto de cabeça para baixo, ficam suspensas de uma só pata. Fazem-no – naturalmente – por nanotecnologia. As suas patas são revestidas de pêlos finíssimos, tão adaptáveis que podem aproximar-se a poucos nanómetros de uma base de apoio, sobre grandes extensões. Intervém então a chamada “ligação Van-der-Waals”, bastante fraca na verdade mas concretizada através de milhões de pontos de aderência. As ligações desfazem-se por “exfoliação”, como quando arrancamos fita adesiva. E é assim que a osga consegue correr pelo tecto. Os investigadores de mecânica dos materiais rejubilam já com uma “osgalina” sintética.

firmemente. Outras moléculas de aderência empurram-nos então através das paredes dos vasos, até ao ponto da picada, onde eles se lançam sobre eventuais intrusos – um processo de aglutinação por excelência. Estão a ser investigadas imitações nanotecnológicas sob a designação de “bonding on command” – aglutinação por comando.

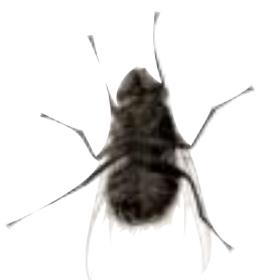


Escaravelhos, moscas, aranhas, osgas, desvendam os seus segredos no Instituto Max-Planck de Investigação dos Metais, em Estugarda. A sua capacidade de aderência deve-se a pêlos minúsculos que formam uma ligação Van-der-Waals com a base de apoio. Quanto mais pesado o animal, mais finos e numerosos os pêlos.

## Aderir à vida

A vida existe porque os seus constituintes são mantidos unidos mediante um refinado processo à escala nanométrica. Consideremos as picadas de insectos: no ponto da picada, a pele torna-se vermelha, devido à expansão de vasos sanguíneos minúsculos, através dos quais afluem nuvens de leucócitos (ou glóbulos brancos). Determinadas células segregam uma feromona, em função de cuja concentração os revestimentos internos das células dos vasos e os leucócitos

libertam moléculas de aderência destinadas a travar a passagem dos leucócitos pelos vasos. A uma concentração máxima da feromona, os leucócitos aglutinam-se



Extremidade de pata de mosca, com grande ampliação.



Mexilhão, vendo-se fios de seda e o pé.



O Instituto Fraunhofer IFAM, de Bremen, estuda formas modificadas do agente colante do mexilhão, tendo em vista uma porcelana capaz de resistir à máquina de lavar. O grupo de trabalho “Novas Matérias-Primas e Biomateriais”, em Rostock e Greifswald, tem também os mexilhões debaixo de olho.

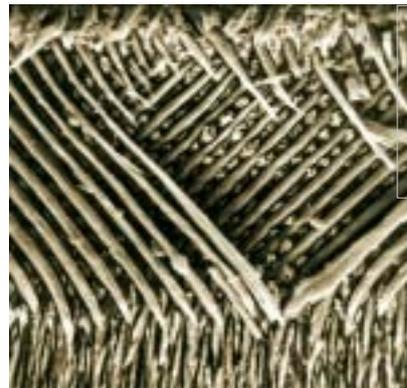
## Biomíneralização

Ma**s** há mais coisas que os mexilhões conseguem fazer. A madrepérola que reveste o interior das valvas é constituída por uma quantidade enorme de minúsculos cristais de carbonato de cálcio, na forma de aragonite. Isolados, estes cristais seriam muito frágeis. No mexilhão, contudo, estão soldados uns aos outros por proteínas em forma de parafuso e altamente elásticas. Bastam 3%, em peso, de proteína para tornar a casca do mexilhão três mil vezes mais tenaz do que um cristal de calcite. Para resistir às ondas, os ouriços-do-mar reforçam desse modo os seus espinhos, que chegam a atingir 30 cm de comprimento.

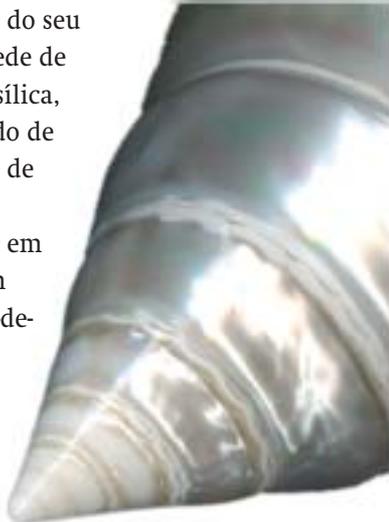
A biomíneralização produz também criações extremamente delicadas. Numa pequena zona perto das Ilhas Filipinas, vive, no fundo do mar, uma esponja, conhecida como “cesto-de-flores-de-Vénus”. Tem o corpo curvo como a bainha de uma adaga turca, mas com secção transversal circular. Deve o nome à estrutura do esqueleto interno do seu invólucro, uma rede de finas agulhas de sílica, como o entrançado de verga do espaldar de uma cadeira. O entrelaçamento é em ângulo recto e em diagonal. O cesto-de-flores-de-Vénus é uma obra-prima

da biomíneralização: pequenos blocos elementares de sílica (dióxido de silício), com 3 nm de diâmetro, ligam as células da esponja em camadas finíssimas, que em seguida se enrolam de modo a formar as agulhas, elemento de base também para o entrançado, capaz então de suportar grandes variações de pressão.

Cesto-de-flores-de-Vénus, uma esponja dos fundos marinhos que está a ser estudada como modelo biológico para fibras ópticas.

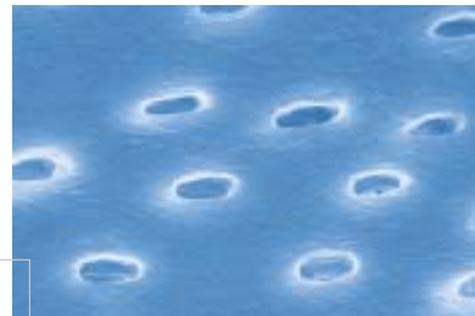


O entrançado biomíneral tridimensional no esmalte de um molar de rato-de-água protege a superfície contra fracturas.



Biomíneralização técnica: nanopartículas que reparam os dentes.

Quando os dentes se tornam muito sensíveis ao frio ou aos ácidos, a responsabilidade é de pequenos canais no esmalte, os túbulos de dentina. A empresa SusTech utiliza nanopartículas de fosfato de cálcio (apatite) e de proteína para obturar estes canais, dez vezes mais rapidamente do que com os preparados de apatite clássicos. A camada remineralizada comporta-se exactamente como material próprio do dente.



# Nanotecnologias na Natureza

## Viagem ao Nanocosmos

A biomineralização das diatomáceas teve outrora uma franca importância estratégica. Estas algas microscópicas protegem-se com um invólucro de ácido silícico, cujo principal componente é a sílica, anidrido silícico ou dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Tal como o vidro de sílica, que também consiste em dióxido de silício, os invólucros das diatomáceas são bastante resistentes à acção corrosiva de muitos ácidos e bases, razão pela qual os especialistas os encaram como possíveis vasos de reacção para cristais à escala nanométrica. Um truque para obter nanopartículas através de reacções químicas consiste em limitar o volume da reacção. Quando o material da reacção é consumido, os cristais resultantes mantêm-se pequenos. Ora, nos invólucros das diatomáceas há muitos nanoporos, ou seja, nanoreactores.

E como é que, por sua vez, se formam os invólucros de ácido silícico das diatomáceas, muitas vezes bastante vistosos? Já há respostas. Investigadores da Universidade de Regensburg descobriram que, numa solução de ácido silícico correctamente doseada, variantes de um conhecido grupo de proteínas, as “poliaminas”, podem produzir esferas minúsculas (nanosferas) com diâmetros ajustáveis, entre 50 e 900 nm. Espontaneamente, sob o impulso das forças de auto-ordenamento. Os invólucros das diatomáceas devem originar-se de modo identicamente espontâneo, segundo modelos simples de crescimento.

Por que tiveram outrora as diatomáceas “importância estratégica”? Em 1867, o sueco Alfred Nobel descobriu que o pó das rochas resultantes da fossilização destas algas absorvia a nitroglicerina, desse modo atenuando a tendência deste explosivo para a detonação espontânea. Nobel deu à mistura o nome de “dinamite”, um produto cujo sucesso comercial lançou as bases da fundação que hoje financia os Prémios Nobel.

As diatomáceas – em cima, o aspecto “esponja Menger” (v. tb. p. 21) – têm, graças à sua forma óptima, uma estabilidade máxima com um peso mínimo e, verosimilmente, sistemas de captação da luz para os seus aparelhos de fotossíntese, os cloroplastos.



A estrela-do-mar *Ophiocoma wendtii* está equipada com um sistema perfeito de microlentes para a visão óptica. Em cima: aspecto diurno; em baixo: aspecto nocturno.



Escamas blindadas e microlentes, num só complexo.

Nanotecnologias na Natureza: a *Ophiocoma wendtii*, uma estrela-do-mar do tamanho da palma de uma mão, foi durante muito tempo um enigma. Este animal, de cujo corpo em forma de disco e protegido por um invólucro partem cinco braços, esconde-se rapidamente à aproximação de eventuais inimigos, embora não pareça possuir olhos para os reconhecer. Por fim, foram encontrados órgãos de visão no invólucro calcário do disco central, o qual possui varias microlentes perfeitas, o que torna o corpo da estrela num complexo ocular único. Qual a nanotecnologia? Cada uma das lentes é cristalizada, de modo que a característica do calcário de criar fantasmas (imagens duplas) fica neutralizada – controlo da cristalização a nível nanométrico. Por meio de subtis aportes de magnésio, as lentes são também corrigidas em relação à “aberração esférica”, evitando franjas cromáticas indesejáveis. A *Ophiocoma* domina, pois, especializações nanotecnológicas que já proporcionaram glória à célebre firma de artigos ópticos Carl Zeiss.



O Institut für Neue Materialien (INM – Instituto de Novos Materiais), de Saarbrücken, desenvolveu métodos com nanopartículas, para aplicar em peças de metal hologramas resistentes à falsificação e ao desgaste.



A Natureza não consegue fazer isto: aplicar negro de fumo nanoscópico a cerâmica, para isqueiros resistentes à corrosão, como os dos esquentadores a gás. A condutividade ajustável da cerâmica evita o recurso a transformadores.

## Limites da Natureza, vantagens do artificial

A nanotecnologia é, pois, puramente natural. No entanto, as possibilidades da natureza viva são limitadas: ao contrário da cerâmica, não pode funcionar a temperaturas elevadas, nem com condutores metálicos. Em compensação, a técnica moderna dispõe de condições altamente artificiais – graus extremos de pureza, frio, vácuo – sob as quais a matéria adquire propriedades extraordinárias. Importa, além disso, contar com os especialíssimos efeitos quânticos, que parecem contrariar fortemente as leis do mundo comum. As partículas do nanocosmos comportam-se ao mesmo tempo como partículas e como ondas. Por exemplo,

um átomo, que é um corpúsculo, pode passar simultaneamente por duas fendas, como uma onda, para em seguida voltar a comportar-se como uma partícula.

A dimensão da ordem do nanómetro, as partículas adquirem propriedades inteiramente novas: os metais tornam-se semi-condutores ou isolantes; substâncias inverosímeis, como o telureto de cádmio (CdTe), fluorescem no nanocosmos em todas as cores do arco-íris; outras transformam luz em electricidade.

Quando as partículas se tornam nanoscópicas, a quantidade de átomos da sua superfície aumenta acentuadamente. Os átomos superficiais têm amiúde propriedades distintas das do

interior da partícula: na sua maioria, são favoráveis às reacções. À escala nanométrica, o ouro, por exemplo, torna-se um bom catalisador para células de combustível (v. tb. “Mobilidade”). Como as nanopartículas podem igualmente ser envolvidas por outras substâncias, os materiais formados por esses compostos apresentam uma combinação de diversas propriedades. Exemplo: nanopartículas de cerâmica com um invólucro orgânico, um material que diminui a tensão superficial da água e se utiliza, portanto, para revestir espelhos de casa-de-banho resistentes ao embaciamento.

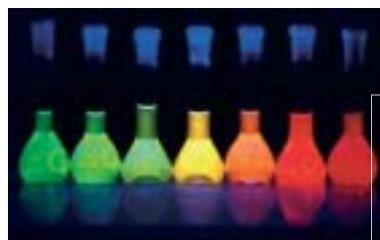
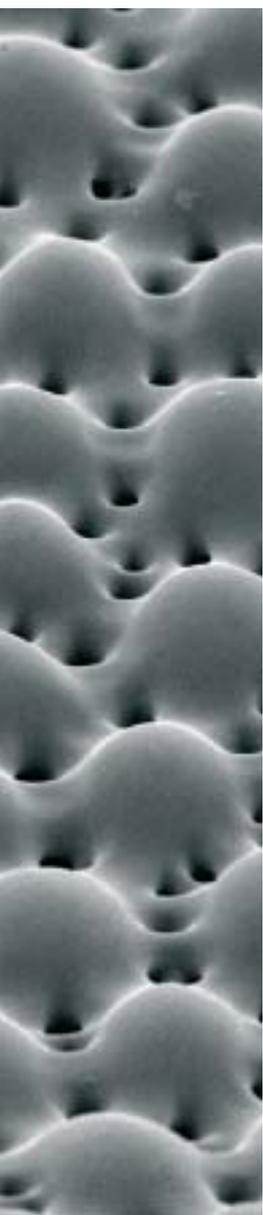
Partículas nanométricas do óxido de ferro magnetite, embebidas em óleo, formam um líquido magnético maleável, um ferrofluido. Os ferrofluidos servem uma variedade crescente de utilizações: vedantes para juntas rotativas de reservatórios de vácuo e para invólucros de discos rígidos; material para os amortecedores ajustáveis de vibrações em máquinas e automóveis.

Ninguém deve assustar-se com a complexidade da nanotecnologia. Também uma maçã é complexa – tem células, ribossomas, DNA –, o que nunca lhe diminuiu os atractivos. Porque as maçãs estão ao alcance de todos – tal como as boas nanotecnologias.

Nanopartículas de magnetite em óleo. O fluido pode ser moldado magneticamente.



“Magnetotacticum bavaricum”. As magnetobactérias podem sintetizar cadeias de nanomagnetites e utilizá-las como agulhas de bússola.



Partículas fluorescentes de telureto de cádmio. As cores dependem apenas do tamanho das partículas.

# Instrumentos e processos

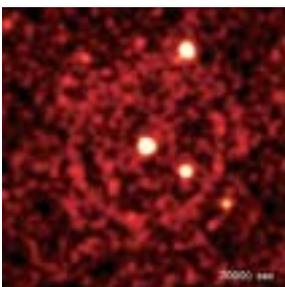
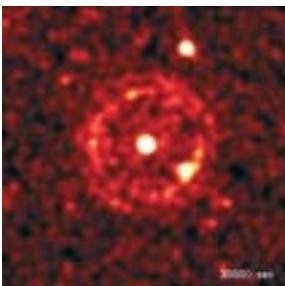
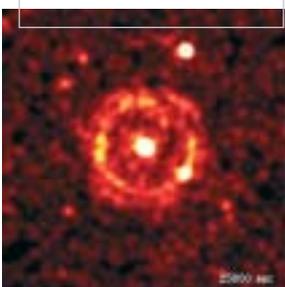
## Olhos para o nanocosmos



Nanotecnologia no espaço: os reflectores do "Newton", o telescópio europeu de raios X (nesta imagem, orientado para a radiação X da Galáxia Andrómeda), têm um polimento tal que, no centro, a rugosidade não excede 0,4 nm.



Uma sensação científica: feixe de raios gama inflamando anéis numa galáxia do tipo nuvem de poeta.



Que tem o "Newton", o telescópio europeu de raios X, a ver com nanotecnologias? Capta a radiação X (ou radiação Röntgen) de objectos distantes, com 58 reflectores do tamanho de cestos de papéis, encaixados uns nos outros como escamas de cebola e revestidos a vapor de ouro. A rugosidade média da superfície é de apenas 0,4 nm – um prodígio, para o qual a firma Carl Zeiss AG contribuiu de modo determinante.

Os reflectores de precisão para espectroscopia e microscopia de raios X são compostos por várias centenas de camadas de dois elementos pesados. Aplicam-se-lhes especificações ainda mais extremas: no centro, o desvio das camadas em relação ao ideal não pode exceder uma fracção do diâmetro de um átomo. Esta técnica é estudada no Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik (Instituto Fraunhofer de Técnica de Materiais e Radiações), em Dresden.

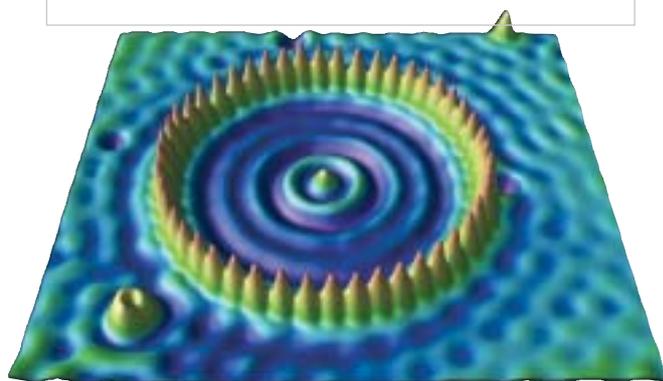
A Natureza descobriu também o truque do reflector de camadas para o domínio da luz visível: por meio de pequenos reflectores de proteína reflectina, o choco *Euprymna scolopes*, um cefalópode de actividade nocturna, orienta

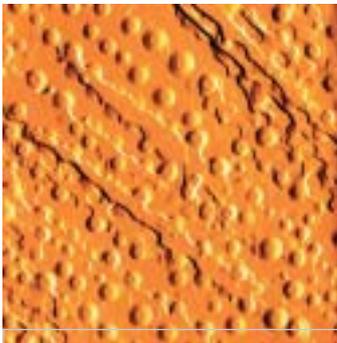
para baixo a luz de bactérias luminescentes, enganando com a ilusão de um céu estrelado os inimigos que nadam por baixo de si. Este exemplo de nanotecnologia biológica foi descoberto há pouco tempo pela Universidade do Hawaii.

### Sondas de varrimento

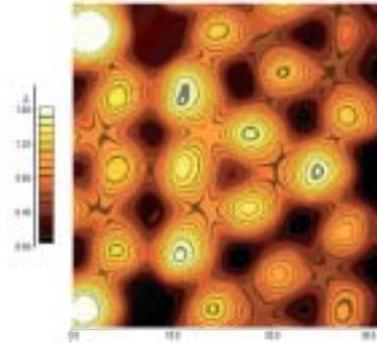
Embora não pareçam espectaculares, as sondas de varrimento, são como olhos para o nanocosmos. O desenvolvimento do microscópio de túnel de varrimento, pai destas sondas, valeu um Prémio Nobel. Nas sondas de varrimento, uma cabeça de exploração é guiada por piezocristais passando, leve mas repetidamente,

"Quantum Corral", de Don Eigler, da firma IBM. As ondas interiores reflectem a probabilidade de encontrar um electrão.

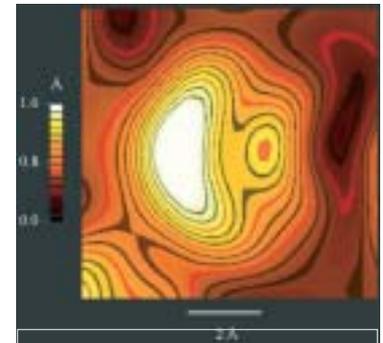




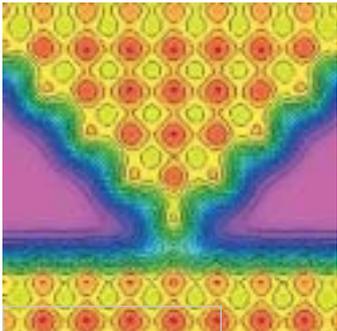
Cristal de brometo de potássio com terraços de átomos. O sal com que temperamos a comida tem o mesmo aspecto.



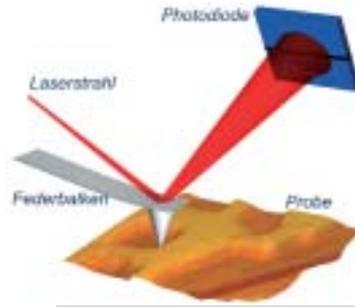
Anéis de densidade de electrões de silício, com grande ampliação, no microscópio de força de varrimento.



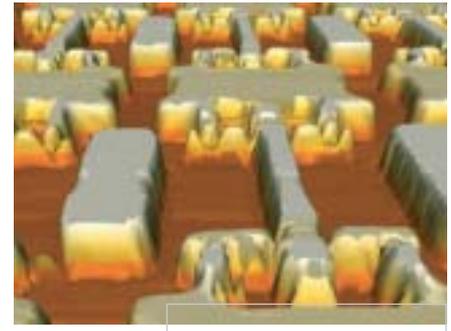
Exactamente como diz a teoria, o átomo frontal da cabeça de exploração emite duas nuvens de electrões orbitais.



Aspecto esquemático da cabeça clássica de um microscópio de túnel de varrimento.



Microscópio de força de varrimento: o desvio da agulha de exploração é transmitido por um raio laser a uma célula fotoemissora.



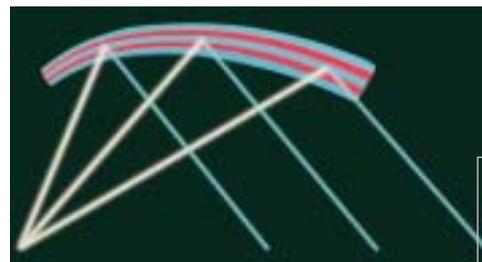
As comutações podem ser reproduzidas em microchapas ("chips") por meio de sondas "capacitivas".

sobre o objecto de a analisar (campos atómicos, por exemplo).

Movimentos diminutos: a distância entre a cabeça e o campo atómico é normalmente inferior ao diâmetro de um átomo. Acontece então que ora se produz uma corrente, ora se detectam campos magnéticos ínfimos. As medições são interpretadas por computadores, que elaboram gráficos com rigor ao nível do átomo, se não mais exactos, consoante o princípio da medição.

Particularmente apurado é o microscópio de força de varrimento, capaz de detectar as minúsculas forças que os átomos do campo atómico exercem sobre o átomo mais próximo na cabeça de

exploração. O processo pode chegar até aos anéis de electrões dos átomos – uma revelação de segredos ao nível mais profundo da matéria. A Universidade de Augsburg detém o recorde mundial de resolução.

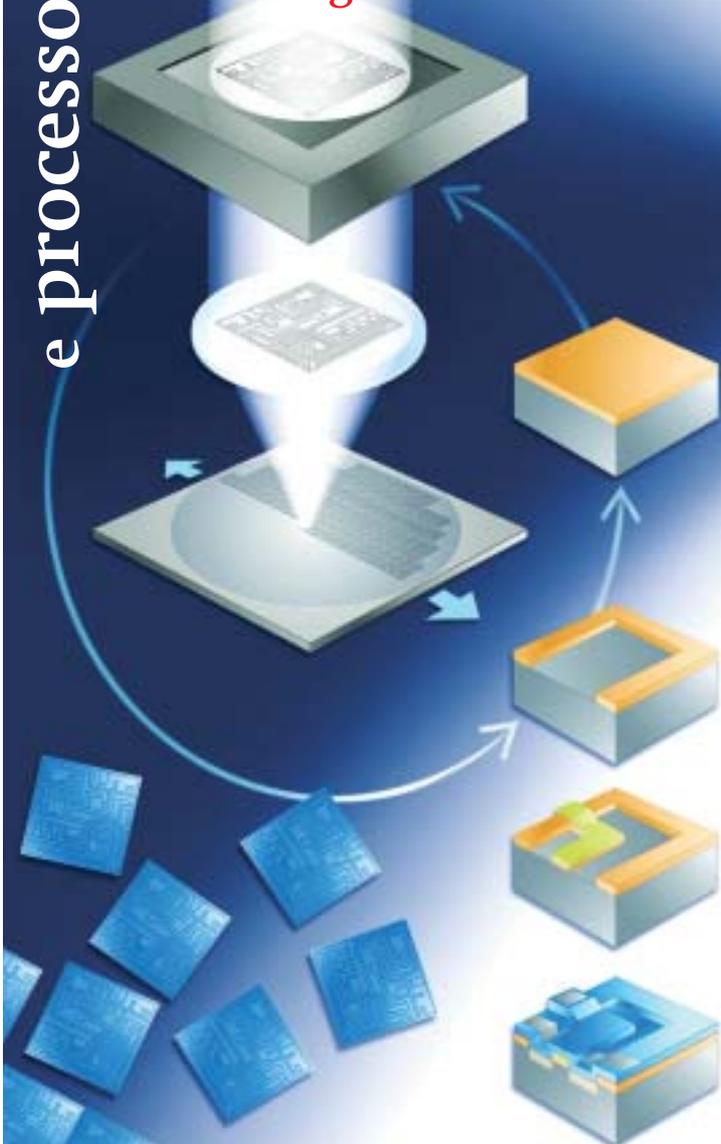


Reflector de camadas curvas para análise de elevada resolução por raios X.

O choco "Euprymna scolopes" engana os inimigos recorrendo a reflectores de camadas de proteína reflectina. A luz é emitida por bactérias luminescentes.



## Material gráfico



*Processo litográfico: um chip é uma estrutura tridimensional, cujos elementos de comutação se ordenam segundo planos individuais. Num chip moderno de elevada resolução, são utilizados 25 a 30 desses planos, cada um dos quais com a sua própria máscara litográfica. As estruturas da máscara são projectadas no disco por meio de luz e do sistema de lentes do alinhador; tal como num projectador de diapositivos. Cada nova máscara de um conjunto acrescenta novas funcionalidades ao chip e aumenta a sua complexidade.*

## Litografia

No mundo da informática, a litografia é a técnica de estruturação dos chips (ou microchapas) dos computadores, com a ajuda da luz. Para o efeito, recorre-se a um disco altamente polido de material semiconductor (silício), revestido a verniz fotossensível, sobre o qual é projectada a imagem de um circuito. A revelação do verniz mostra zonas expostas e não expostas no disco, as quais adquirem então as propriedades eléctricas pretendidas mediante processos de produção de circuitos, como decapagem, implantação de átomos alheios e deposição. A repetição do processo com sucessivos circuitos e padrões (ou máscaras) dá por fim origem às criações mais complexas que o homem já produziu: circuitos altamente integrados, chips. Entretanto, os transístores tornaram-se tão compactos que, na ponta de um lápis, caberia meio milhão ou mais.

Os chips modernos têm circuitos menores do que o comprimento de onda da luz litográfica, pelo que se utiliza laser de fluoreto de crípton com um comprimento de onda de 193 nm para realizar circuitos de 130 e, em breve, 90 nm, o que é possível mediante uma série de truques ópticos subtis, como “optical proximity correction” e “phase-shifting”. Estão neste momento a ser lançadas as bases da litografia de ultravioleta extremo (litografia EUV), que utiliza luz com comprimento de onda de 13 nm e que deverá produzir no silício circuitos de apenas 35 nm de largura. As especificações aplicáveis ao material de máscara são extremas: se a temperatura de uma placa de 10 cm de comprimento subir 1°C, só lhe é permitido dilatar-se umas décimas de nanómetro, ou seja, poucas vezes o diâmetro de um átomo. Esta exigência situa-se na fronteira do que, em princípio, é realizável.

A criação do centro de electrónica de Dresden é uma história de sucesso da investigação alemã. Existem na zona cerca de 16.000 postos de trabalho com elevado potencial de inovação para toda a economia alemã. Mediante projectos apoiados pelo Ministério da Investigação, 44 parceiros da indústria e de institutos estatais de investigação, entre os quais 21 empresas de média dimensão, criaram o padrão para a futura utilização de discos de cristal de silício de 300 mm na produção de circuitos integrados altamente complexos. O centro de tecnologia de máscaras de Dresden, onde são preparados os meios de estruturação dos futuros chips nano-electrónicos, detém, pois, uma posição-chave.



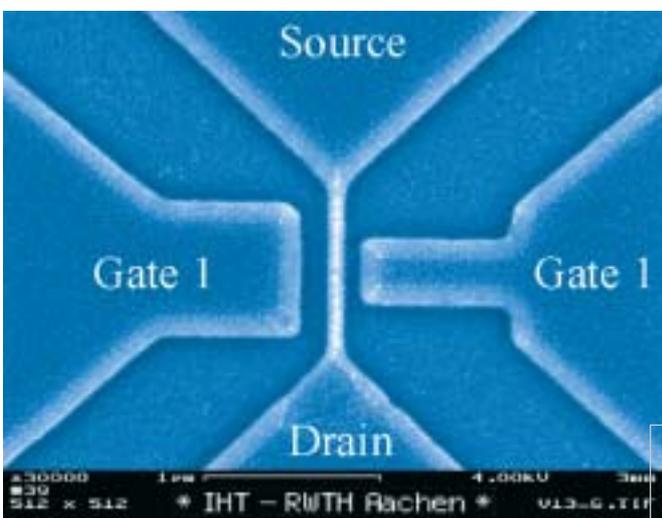
Protótipo da instalação de um alinhador EUV para a produção das futuras gerações de chips.

## Nanografações para as empresas médias

A nanoelectrónica sugere em geral infra-estruturas de investimento avultadíssimo mas que, devido à sua grande produção, lançam no mercado produtos acessíveis. Ora, há também vias para o nanocosmos acessíveis às empresas médias. À primeira vista, os métodos podem parecer arcaicos: por exemplo, na “UV-nanoimprint” (nanoimpressão por raios ultravioletas), os nanocomponentes são gravados – mecanicamente – no verniz de revestimento de um material electrónico, como o silício. O molde que contém os delicadíssimos nanocomponentes é de vidro de sílica, uma substância transparente à luz ultravioleta. Quando o molde penetra no verniz, este, que é fotossensível, polimeriza-se, ou seja, endurece, sob um impulso de luz ultravioleta. Retira-se o molde e reduz-se o relevo no verniz. O silício exposto pode então ser manipulado à vontade. Repetindo o processo sucessivamente com outros moldes, vai-se compondo a estrutura

complexa de um chip com transístores, pistas de circuito impresso, etc. Em laboratório, conseguiram-se componentes ínfimos de 10 nanómetros. Além de abrir caminho para o Lab-on-a-Chip, este finíssimo processo não se restringe a componentes electrónicos: podem também ser estruturados metais e plásticos. Os custos de uma máquina de nanoimpressão-UV calculam-se hoje em menos de um milhão de euros, uma fracção dos correspondentes ao equipamento de uma moderna fábrica convencional de chips. Contudo, a nanoimpressão-UV não vai gerar produtos mais baratos, porque o caudal de produção é muito menor. Para mini-séries especiais (“mini” à escala das grandes produções em série de processadores), a nanoimpressão-UV poderá tornar-se a opção tecnológica.

Zerodur para máscaras de litografia: esta cerâmica especial mantém-se estável mesmo à escala nanométrica.



Moldes no nanocosmos: no Institut für Halbleitertechnik (Instituto de Tecnologia de Semicondutores – IHT), em Aachen, são já realizáveis, por métodos mecano-ópticos, componentes de apenas 80 nm de espessura para chips. Aplicações: pequenas séries de circuitos altamente complexos.

## Impulsos para a ciência

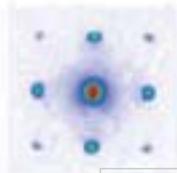
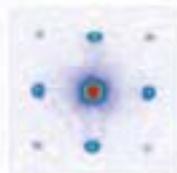
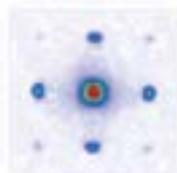
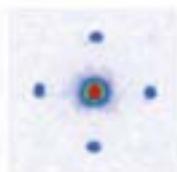
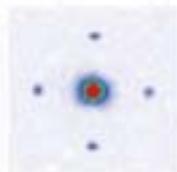
Espectrómetro comum para a análise estrutural por raios X. A estes instrumentos deve a ciência uma grande parte do seu conhecimento sobre o nanocosmos.

Pista subterrânea para electrões rápidos.



### Efeitos quânticos

Na Universidade Ludwig-Maximilian, em Munique, a matéria é rotineiramente manipulada em condições nanotecnológicas extremas, sob as quais adquire propriedades bizarras. Quando, por exemplo, uma nuvem de centenas de milhar de átomos de rubídio é arrefecida até um milionésimo de grau acima do zero absoluto (-273 °C) e sujeita a um campo magnético, os átomos associam-se num “condensado de Bose-Einstein”, formando uma unidade, como um regimento em marcha. Os técnicos de óptica quântica de Munique conseguem levar um condensado desses a formar um entrançado tridimensional de ondas laser estáticas, tornando, por exemplo, a luz tão forte que a unidade do bloco se rompe, originando um “condensado Mott”. O feito mereceu já um prémio, porque a investigação deste tipo dá vida à teoria quântica, e é esta que detém a última palavra no nanocosmos. Quem a compreender na perfeição conseguirá, inclusive, desenvolver medidas de tempo mais rigorosas. Relógios mais precisos poderão, por sua vez, ajudar a acelerar o fluxo de dados na Internet – uma investigação aparentemente esotérica mas bem rentável.

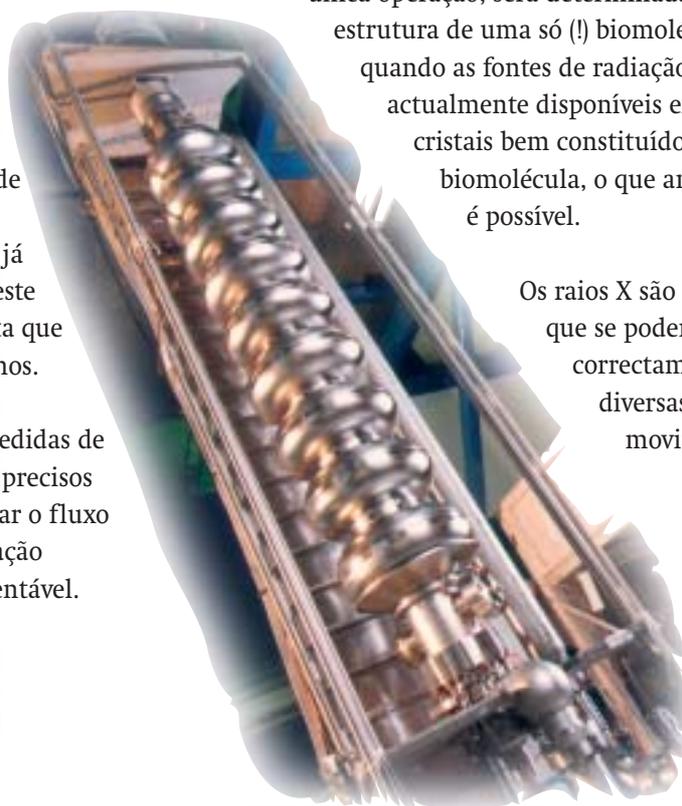


“Condensado Mott” - matéria exótica para medição cronológica ultraprecisa.

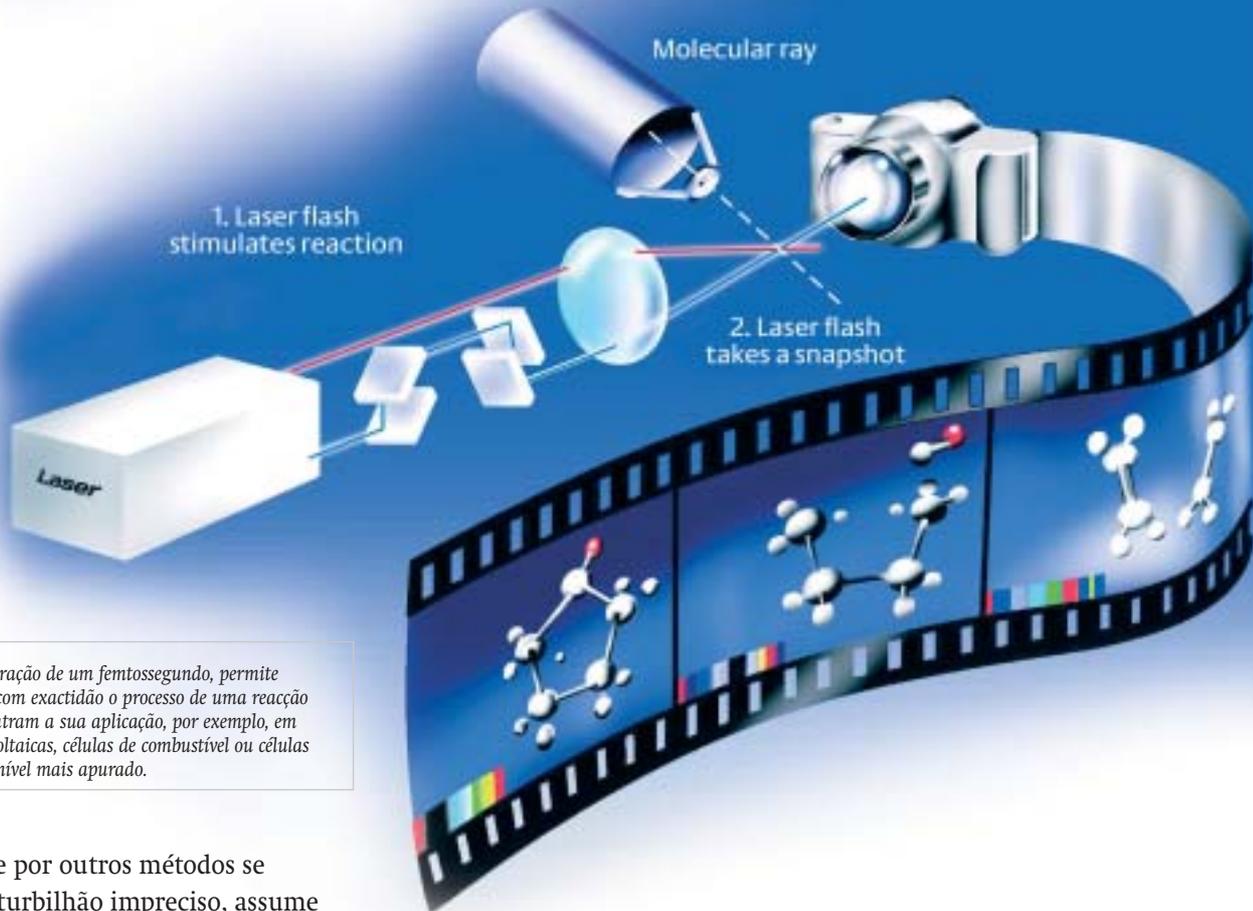
### O laser XFEL de raios X – luz forte para a nanotecnologia

Se tudo correr como previsto, alguns milhares de milhão de electrões passarão em 2012 por uma experiência assaz emocionante. Com início no centro DESY, em Hamburg-Bahrenfeld, serão estimulados a altíssima energia por um acelerador de electrões supercondutor, desviando-se sistematicamente em linhas oscilantes, sob a acção de magnetes, à distância de 3,3 km. Assim se origina uma radiação X de onda curta de tipo inteiramente novo: a radiação laser, a mais preciosa que os cientistas alguma vez obtiveram. Com uma única operação, será determinada a estrutura de uma só (!) biomolécula, quando as fontes de radiação X actualmente disponíveis exigem cristais bem constituídos da biomolécula, o que amiúde não é possível.

Os raios X são tão curtos que se podem filmar correctamente as diversas fases do movimento de



Elementos supercondutores para aceleração de electrões.



A radiação X laser, com a duração de um femtosegundo, permite acompanhar e compreender com exactidão o processo de uma reacção química – reacções que encontram a sua aplicação, por exemplo, em optoelectrónica, células fotovoltaicas, células de combustível ou células solares – nanotecnologia ao nível mais apurado.

uma molécula. O que por outros métodos se apresenta como um turbilhão impreciso, assume com o laser de raios X um aspecto reconhecível.

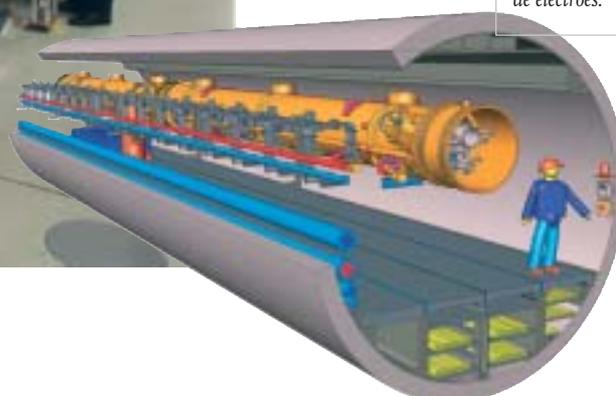
Os segredos do atrito poderão ser desvendados. O que provoca a fricção, e como, será determinado por ilhas nanométricas de poucas centenas de átomos.

As propriedades de grupúsculos individuais com poucas centenas de átomos (clusters) são mais facilmente estudadas pelo XFEL do que por qualquer outro instrumento. Em suma: a ciência e

a técnica receberão um poderoso impulso com o maior projecto europeu no domínio da nanotecnologia. Os custos totais estimados em 684 milhões de euros (valores de 2003) serão, segundo todas as previsões, mais do que compensados. E de maneira nenhuma com conhecimento puro apenas, mas sim com metal sonante.



O laser de electrões livres em construção.



Aspecto previsível da pista subterrânea de aceleração de electrões.

# Concepção de materiais à escala nanométrica

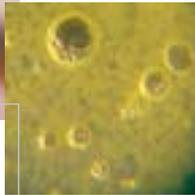
### Processos sol/gel para novos materiais

O molho béarnaise tem este nome em honra de Henrique IV, rei de França, que era originário da região de Béarn. Trata-se de um bom (e saborosíssimo) exemplo de sistema coloidal. Falamos em colóide quando muitas gotas de uma substância se encontram em suspensão estável numa outra substância. No molho béarnaise, há gotículas de vinagre dispersas em gordura de manteiga. Os cremes e tintas são

A tecnologia sol/gel apresenta múltiplas variantes para numerosas substâncias. Os soles gelificados podem também ser divididos em estrias que, a alta temperatura, se transformam em fibra cerâmica. A partir de soles, pode ser produzido pó nanométrico que, muito mais facilmente do que o material pulverulento comum e a temperaturas inferiores, se transforma em partículas de cerâmica, resistentes às mais altas pressões e temperaturas.

A tecnologia sol/gel serve para a produção de componentes altamente complexos, como fibras ópticas, duplicadores de frequência, campos de microlentes, etc. Este tipo de nanotecnologia promete nada menos do que uma revolução na tecnologia de materiais.

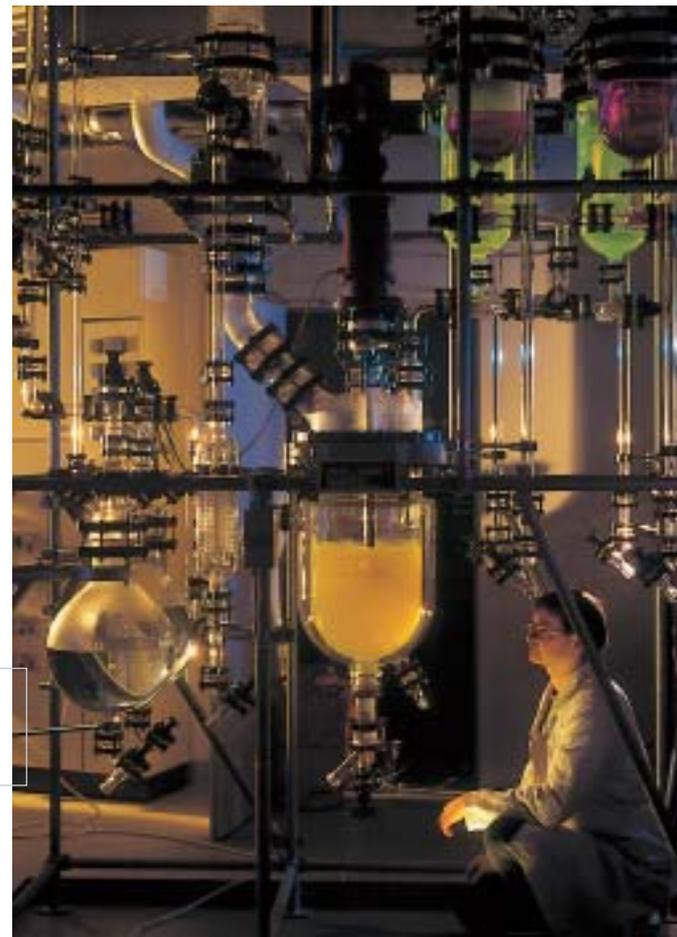
Em determinadas circunstâncias, o solvente do gel pode ser removido sem se alterar o volume externo, o que produz um material extremamente poroso e de baixa densidade – um aerogel.



*Tecnologia sol/gel para Sua Majestade: o molho béarnaise, em honra de Henrique IV de França.*

também colóides. Com a tecnologia sol/gel, os colóides conduzem-nos directamente à alta tecnologia.

Nesta tecnologia, é produzido um sol – isto é, uma solução – normalmente coloidal, de compostos de um elemento (por exemplo, silício): gotículas contendo o elemento (silício) flutuam num líquido de base. Aspergindo o sol sobre uma placa aquecida, o líquido de base reduz-se e as gotas de silício gelificam, constituindo uma rede que, por fim, forma uma película dura de cerâmica. E a placa fica assim protegida contra a corrosão e a abrasão.



*Nanotecnologia ao nível mais refinado: o reactor de partículas sol/gel.*



Com vidraças duplas forradas a aerogel limitam-se as perdas de calor.



Um aerogel que caça poeiras cientificamente. As partículas errantes são aprisionadas numa massa fundida de aerogel.

O cometa "Wild 2" foi visitado por um aerogel.



## Aerogeles

Os aerogeles abundam na vida quotidiana. Tomemos, por exemplo, o produto a que em confeitaria se chama "merengue": claras de ovos batidas com açúcar e cozidas no forno. Ao toque, tem-se imediatamente uma sensação de calor. A razão é que, no merengue, há milhões de bolhas microscópicas que, aprisionando o ar, não o deixam circular e efectuar trocas de calor. O merengue é um isolante térmico, como o poliestireno. Os aerogeles obtidos de modo idêntico com espuma de vidro são isolantes térmicos de primeira.

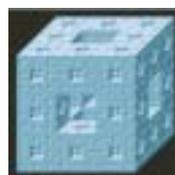
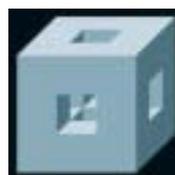
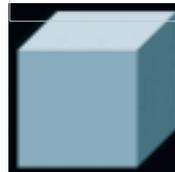
Embora a clara de ovo seja incolor, o merengue é branco. A razão deve-se à formação das bolhas micrométricas na espuma. Acontece que, em estruturas micrométricas, a luz refracta-se em todas as cores do arco-íris, cuja síntese é o branco. Os poros de dimensão nanométrica já não refractam a luz. Uma espuma de material vítreo com poros nanométricos é quase tão transparente como o vidro das janelas. Vidraças duplas forradas com tal espuma isolam optimamente o calor.

Como estas espumas contêm quase exclusivamente ar, dá-se-lhes o nome de aerogeles. A designação de "gel" deve-se ao processo de produção: à solução aquosa de um material adequado, aplica-se um catalisador, o que origina cavidades minúsculas e de paredes muito finas, que se associam em cadeias e, por fim, em séries, formando o gel. Por secagem, obtém-se um levíssimo aerogel.

O aerogel mais "viajado" encontra-se no analisador de poeiras CIDA da empresa Hoerner & Sulger GmbH, que, em Janeiro de 2004, ao cabo de uma viagem de 3,22 mil milhões de km durante cinco anos, recolheu poeira do cometa "Wild 2".

Um material impregnado de bolhas tem grande superfície interna. A maior superfície possível, infinita, corresponde à esponja Menger, cujo volume é, portanto, nulo. Trata-se de um mero conceito matemático. Todavia, a superfície interna real dos aerogeles é suficientemente grande para produzir efeitos surpreendentes. Um aerogel de carbono do tamanho de um cubo de açúcar tem 2.000 m<sup>2</sup> de superfície interna. Esta e outras propriedades garantem aos aerogeles de carbono um lugar seguro na tecnologia energética do futuro. Com eles, podem fabricar-se condensadores até 2500 farad, que armazenam energia para atender a picos de procura (por exemplo, nos automóveis eléctricos). A genial espuma possibilitará também melhores baterias de lítio, pilhas a combustível de tipo inovador, etc. Raramente se tem patenteado um tal potencial. Típico da nanotecnologia.

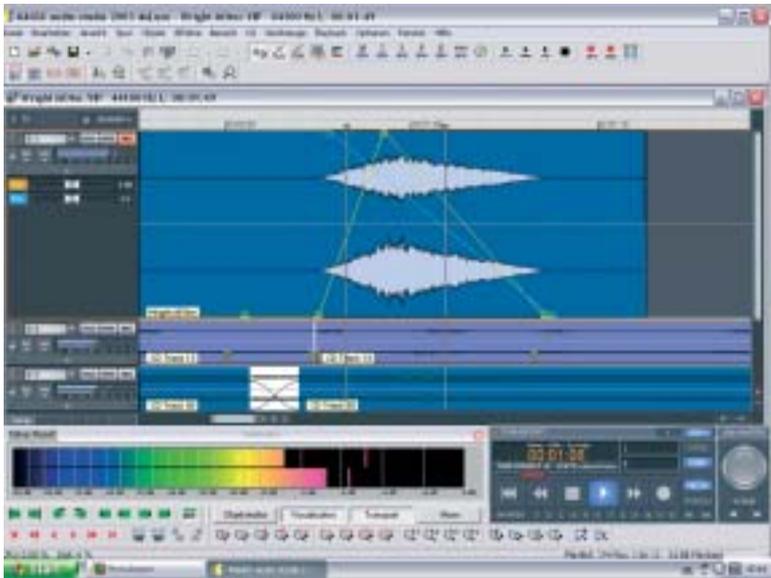
Os matemáticos utilizam a esponja Menger como "curva universal". É gerada pela repetição infinita do procedimento aqui ilustrado.



# Nanotecnologias para a sociedade

## O mundo interligado: nanoelectrónica

### Do computador no estúdio ao estúdio no computador – estado da técnica

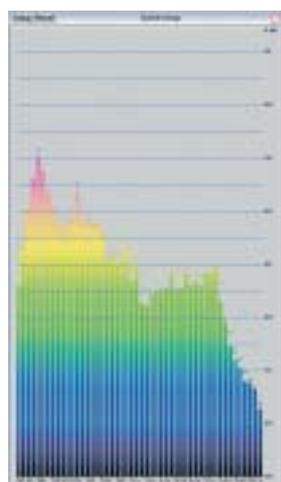


**I**ncumbência: quatro minutos e meio de emissão radiofónica sobre o primeiro voo a motor dos irmãos Wright, com atmosfera sonora condizente. Como procede um



apresentador diligente? Primeiro, analisa o local da ocorrência. O globo virtual mostra o Kitty Hawk sobre uma faixa de poucos quilómetros de largura no Atlântico Norte, com os montes Kill Devil ao lado. Portanto, os Wright devem ter ouvido o murmúrio da rebentação. Está tudo na fonoteca, inclusive a forte brisa do primeiro voo,

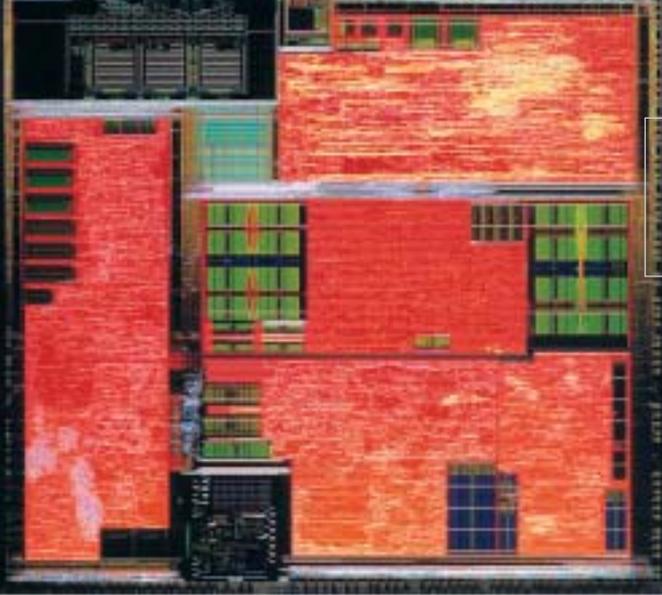
agitando a vegetação das dunas, conforme refere a *Encyclopaedia Britannica*. O motor gira a 1.200 rotações por minuto: segundo a fonoteca, trata-se de um Chrysler-Oldtimer, que zumba profundamente. O espectroscópio do programa de som indica frequências plausíveis, pelo que tudo parece correr bem. O voo durou doze segundos. Selecciona-se uma passagem ao fim da qual, devido ao efeito Doppler, o tom decresce. É tudo registado em diversas faixas do programa de som. A aeronave executa um voo da esquerda para a direita, regulável por curvas panorâmicas. O ruído do motor sobe e desce, igualmente regulável por



curvas de intensidade sonora. E então, tal como em 17 de Dezembro de 1903, Orville Wright, com ar decidido, conduz o *Flyer One* sobre os Kill Devil, enquanto se ouve a rebentação e o sussuro das ervas – no computador. (Em 1901, o alemão Gustav Weißkopf, outro pioneiro da aviação, tinha-se elevado nos ares, mas não conseguiu tornar praticável o seu feito.)

Há apenas vinte anos, esta acção seria impensável para uma única pessoa e exigiria equipamento caríssimo. Hoje, basta um computador, uma pequena secretária e poucas horas de trabalho. A enciclopédia foi metida num DVD, que substitui 30 pesados tomos e que, para uma pesquisa rápida, é incomparavelmente mais cómodo do que a sua congénere de papel. O programa de som está gravado, de forma totalmente imaterial, no disco duro e, por uma série de cremalheiras virtuais, debita efeitos ilimitados. O desenvolvimento do computador moderno despoletou uma onda de desmaterialização, que irá também reduzir o consumo de energia. Por outro lado, a descida dos preços de equipamentos e suportes lógicos colocou meios de produção maravilhosos ao alcance das pessoas dotadas de grande criatividade.

No futuro, a biblioteca de pulso deixará de ser incomum, tal como a comunicação móvel interactiva.



Estúdio de televisão do tamanho de uma unha: chip multimedia com controlador de alta resolução para a visualização, com o consumo energético de uma lanterna de bolso.

## Em frente com a nano! O futuro próximo

A técnica de transístores utilizada actualmente nos processadores dos computadores designa-se CMOS (de *Complementary Metal Oxide Semiconductor*, ou seja, “semicondutor de óxido metálico complementar”). Foi desenvolvida, entre outros fins, para os primeiros relógios electrónicos de pulso, pois consumia muito menos energia do que as predecessoras. Desde a década de 1970, os especialistas têm reiteradamente previsto que esta técnica atingirá os seus limites dentro de 10 a 15 anos. Desta vez, a indústria da electrónica tem uma razão premente para admitir uma descontinuidade na tradicional miniaturização dos seus componentes: no caminho para o microcosmos, vai-se paulatinamente tornando visível o âmago da matéria, os seus constituintes atômicos. Porém, os anéis de electrões dos átomos são os menores componentes que, em condições normais, podem ser reunidos em estruturas técnicas estáveis. Patenteia-se, pois, um limite de base. Uma pista condutora não pode ser mais delgada do que um átomo.

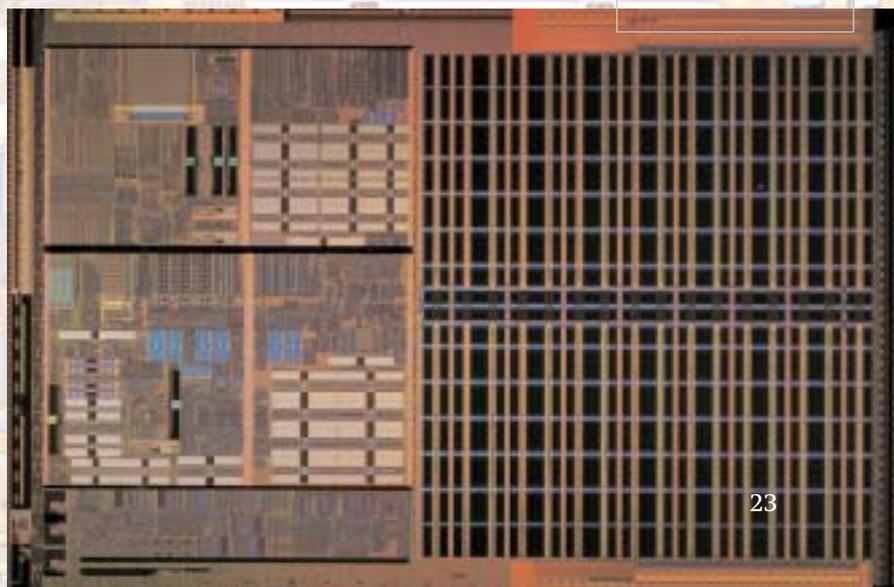
A tecnologia CMOS está há muito sujeita a limites que, por vezes, funcionam de modo assaz curioso. É o caso das pistas condutoras que interligam os transístores de um chip, actualmente de uma tal pequenez que tornaria instáveis átomos de alumínio: no fluxo de electrões a que tecnologicamente se chama “electromigração”, os átomos de alumínio seriam arrastados como seixos num rio. Resolve-se o problema com pistas de cobre, um condutor ainda melhor, e que acelera o fluxo de sinais no chip.

Entretanto, as pistas condutoras estão tão estreitamente encostadas umas às outras que se gera uma capacidade manifesta, tal como num condensador. Se este efeito de concepção não fosse tido em conta, o chip poderia dessincronizar-se.

Alguns componentes dos transístores de chips têm sido gradualmente reduzidos a menos de 20 nm. Chega-se assim ao domínio da teoria quântica, e começa a produzir-se o efeito de túnel: geram-se correntes onde, nos transístores maiores, não as teriam – o sistema de comportas electrónicas apresenta fugas. Embora ínfimas, as correntes de milhões de transístores adicionam-se em perdas importantes, e o processador aquece. Além disso, as cargas errantes causam erros lógicos, que podem ser fatais.

Em estruturas muito delicadas, a natureza ondulatória do electrão começa por fim a manifestar-se – tal como prevê a teoria quântica. Contudo, esta circunstância é encarada por muitos cientistas como oportunidade para um tipo inteiramente novo de electrónica, que poderá dar origem ao computador quântico e, com ele, facultar universos matemáticos inéditos.

Processador de 64 bits da empresa AMD para aplicações em computadores pessoais com 106 milhões de transístores, utilizando tecnologia de 130 nm.



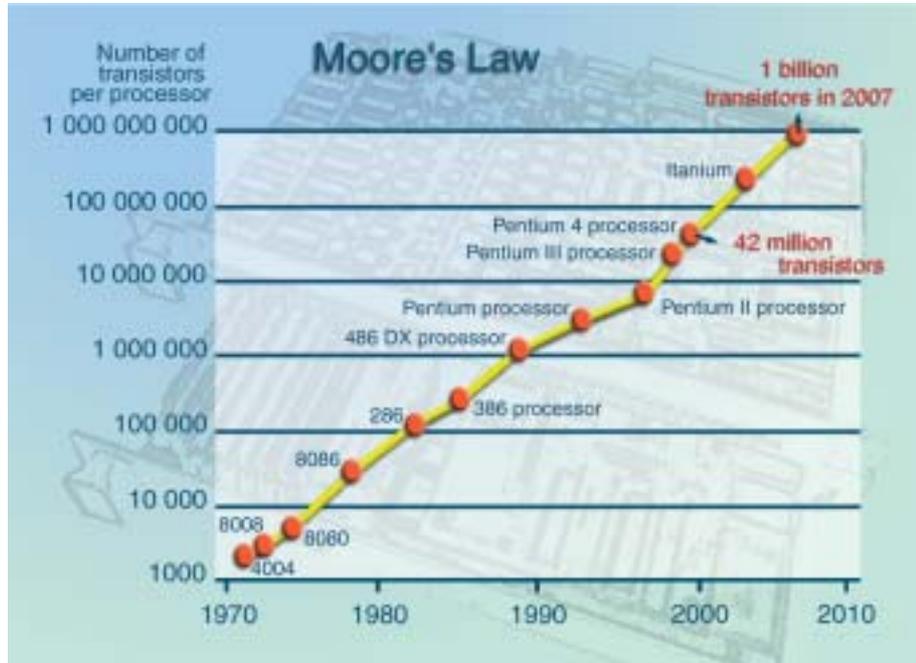
### O mundo interligado: nanoelectrónica

#### A Lei de Moore no limite

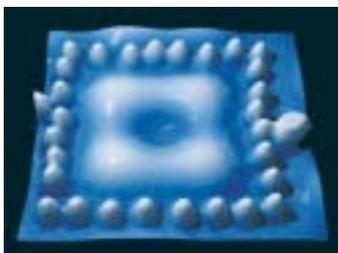
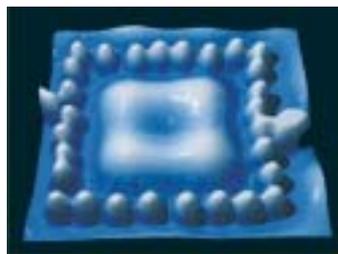
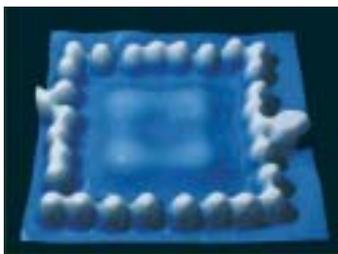
Em 1965, Gordon Moore, co-fundador da firma Intel, descobriu que a capacidade dos microchips duplica ao cabo de aproximadamente 18 meses. A esta "lei" opõe-se agora um problema muito humano. Enquanto o número de transístores dos chips cresce de facto cerca de 50% ao ano, a produtividade na concepção dos chips, queixam-se os analistas, cresce somente 20%. A indústria foi resolvendo o problema engrossando as equipas de concepção – que hoje chegam aos 250 a 300 indivíduos, um número impossível de gerir.

A um crescimento incessante opõe-se também a segunda lei de Moore, nos termos da qual a miniaturização dos componentes implica o encarecimento das linhas de montagem. Enquanto todas estas limitações prejudicarem persistentemente o desenvolvimento, a nanotecnologia terá uma importância cada vez maior na nanoelectrónica. As actuais CPU (unidades centrais de processamento) têm já componentes com menos de 100 nm e mais de

100 milhões de transístores. A acreditar na indústria de semicondutores, cujas previsões radicam essencialmente no desenvolvimento técnico real, dentro de poucos anos (2010) poderemos contar com componentes de 45 nm, que nos oferecerão mais de mil milhões de transístores por chip. Nascem assim possibilidades de aplicação com as quais hoje podemos apenas sonhar.



Um pequeno nódulo de silício num cristal dissolve-se lentamente a 450 graus. O conhecimento deste fenómeno é importante para a qualidade de camadas delgadas.

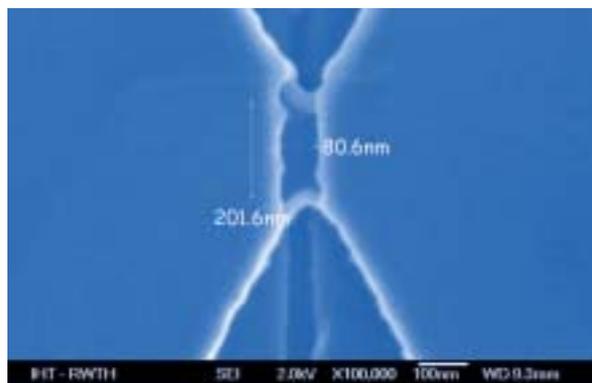


Átomos de manganês sobre prata, na Universidade Christian-Albrecht, de Kiel. Cercados pelos átomos de manganês, os electrões formam padrões de dispersão, dependentes da tensão eléctrica aplicada. Efeitos como este terão importância para a electrónica do futuro.

## Unidade de mudança de fase (Phase Change RAM)

As actuais unidades de memória baseiam-se em diversas tecnologias, com as respectivas vantagens e inconvenientes. O disco duro magneto-mecânico tem uma elevadíssima capacidade de gravação, registando dados mesmo sem alimentação eléctrica permanente, mas é muito lento. A DRAM (memória viva dinâmica) é rápida, mas, sem um contínuo “refresh” sob a forma de impulsos de corrente, perde os dados. As memórias “flash”, que se encontram, por exemplo, em leitores MP3, telemóveis e câmaras fotográficas digitais, conservam os dados mesmo sem alimentação eléctrica, mas não são tão rápidas como as DRAM e só podem ser gravadas cerca de 1 milhão de vezes. As unidades nanotecnológicas do futuro, que em substância apenas prometem as vantagens supramencionadas (elevada capacidade de gravação, rapidez, longevidade e conservação dos dados sem alimentação eléctrica), são, na perspectiva actual, a MRAM (“Magnetic Random Access Memory”, ou memória magnética de acesso aleatório) e a “Phase Change RAM” (unidade de mudança de fase), a seguir descrita.

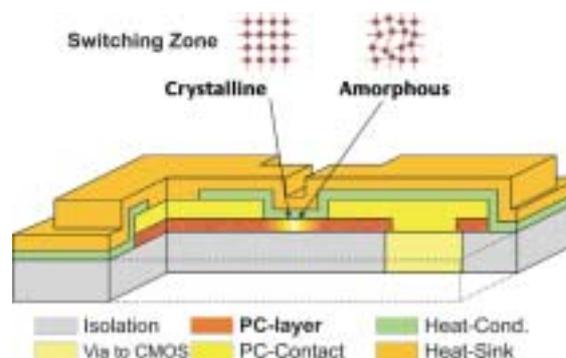
As substâncias sólidas podem apresentar duas texturas extremas: cristalina, em que os átomos estão rigorosamente ordenados como as árvores num pomar; ou amorfa, em que os átomos se dispõem de forma irregular. Substâncias sólidas amorfas muito comuns são os vidros, como, por exemplo, a sílica. Esta mesma substância (dióxido de silício ou anidrido silícico) existe também sob forma cristalina no comércio de minerais (cristal de rocha). Cristalina/amorfa: destas duas texturas da matéria ouvir-se-á falar bastante, pois vão provavelmente determinar as memórias de massa



(ou de grande capacidade) do futuro. Alguns sólidos podem ser levados mais ou menos facilmente da textura amorfa à cristalina e vice-versa. Tal mudança de fase, conseguida sobretudo por efeito térmico, encontrou ampla aplicação em suportes ópticos de memória. Quando, por exemplo, se reescreve ou regrava um DVD (que o possa ser, obviamente), um revestimento especial sobre o DVD passa localmente da fase “cristalina” à “amorfa” por meio do choque térmico de um impulso laser, e altera consequentemente as suas propriedades de reflexão, de modo que pode ser escrito um padrão legível de bits. Uma acção laser mais prolongada e forte torna as zonas amorfas novamente cristalinas, de modo que o DVD pode ser reescrito sucessivamente.

Os materiais passíveis de mudar de fase têm perante si uma carreira promissora, em memórias *electrónicas*, unidades de mudança de fase ou “Phase Change RAM”. A mudança de fase não se processa, neste caso, por via óptica, mas sim electrónica: impulsos eléctricos curtos tornam o material amorfo, com elevada resistência eléctrica; impulsos mais longos devolvem-no à fase cristalina, com resistência eléctrica ínfima. Para a leitura da informação, é inquirida a resistência dos elementos da unidade.

Com a Phase Change RAM, deverão ser conseguidas densidades de gravação que permitirão gravar um terabit em superfícies do tamanho de selos postais – dez horas de vídeo não-comprimido, portanto qualidade máxima. O computador que dispuser desta técnica retomarà a actividade simplesmente a partir do ponto em que o utilizador a suspendeu – deixará de ser necessário reinicializar o sistema.



Direita: com impulsos eléctricos e consequentes impulsos térmicos de variadas durações, as camadas de mudança de fase (PC-layers) podem alternar entre as fases amorfa e cristalina para a memorização de bits. O modelo aqui patenteado (IHT, Universidade Técnica de Aachen) possibilita unidades rápidas com consumos de energia ínfimos.

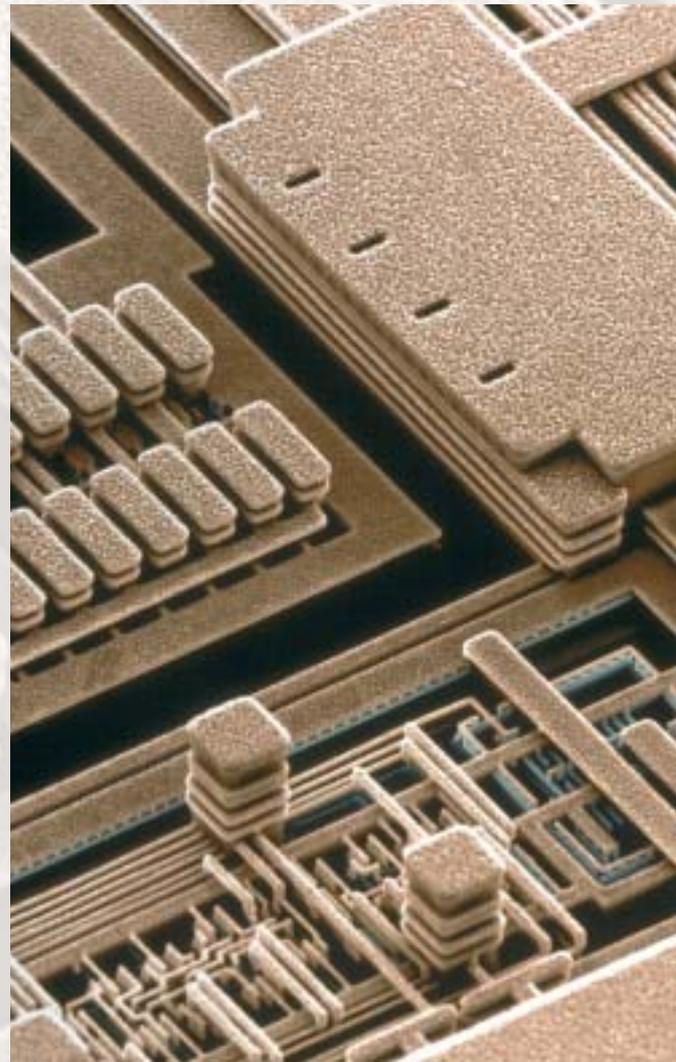
Esquerda: funcionamento concreto de uma unidade de mudança de fase.

### O mundo interligado: nanoelectrónica

#### Rumo ao 3D – os chips crescem em altura

Perante a escassez de terreno em Manhattan, os arranha-céus foram a solução económica escolhida quando se impôs arranjar espaço para escritórios e habitações. Naturalmente, também os projectistas de chips pensaram, desde cedo, na terceira dimensão, mas as tentativas foram-se deparando com uma série de adversidades.

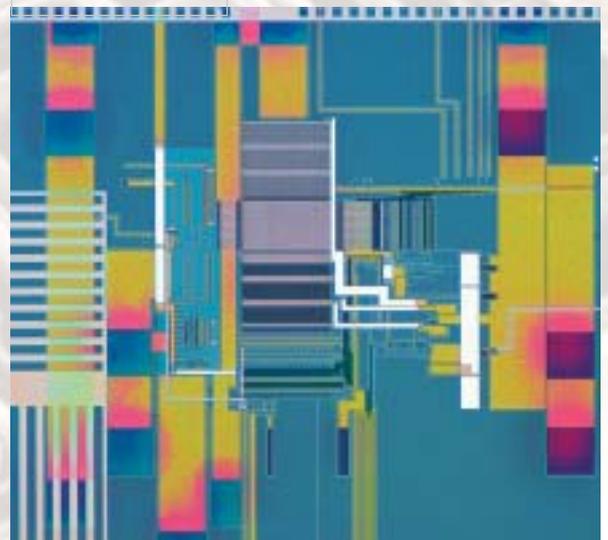
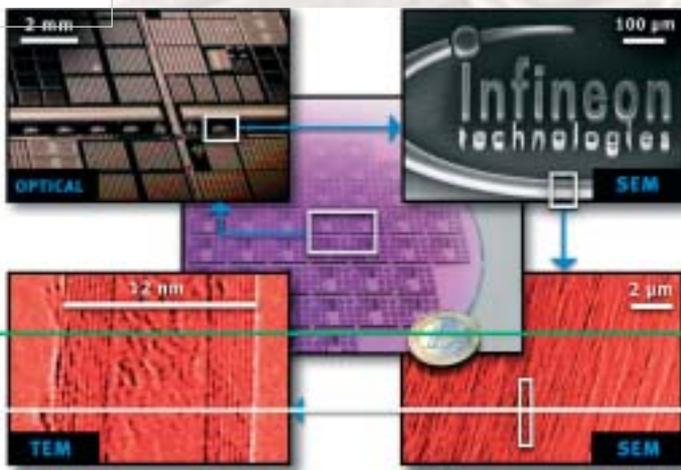
A empresa Infineon AG, de Munique, poderá ter entrado no caminho da terceira dimensão. Conseguiu desenvolver tubos nanométricos de carbono (CNT – “carbon nanotubes”) em lamelas – placas polidas de silício, sobre as quais se instalam os chips dos computadores. Os CNT são condutores eléctricos de primeira classe, pelo que produzem poucas perdas térmicas e, como ligações que suportam esforços mecânicos (VIA), podem ser instalados entre os diversos planos de cablagem de um chip. A longo prazo, os investigadores da Infineon consideram possível alcançar com os CNT uma verdadeira tecnologia 3D para chips, porquanto os CNT, como excelentes condutores térmicos que são, poderão dissipar o calor do interior de um chip 3D.



10 µm

Crescimento objectivado de tubos nanométricos de carbono sobre pontos pré-definidos de uma lamela de silício, por um processo microelectronicamente compatível.

Arte moderna: estruturas experimentais para unidades spintrónicas.

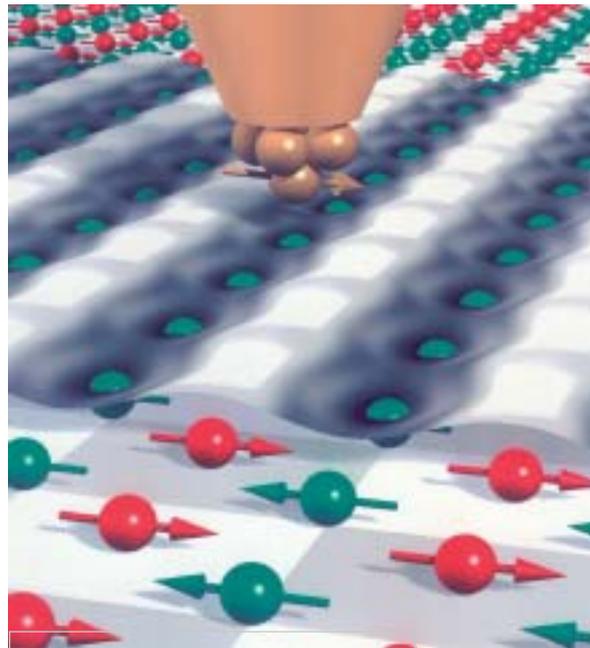




Tão complexa como uma cidade – imagem de uma rede de circuitos de cobre gravada num chip (IBM), ao microscópio electrónico de varrimento. Os chips modernos chegam a ter 9 níveis de circuitos.

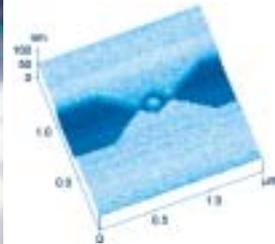


Moléculas orgânicas dispersas sobre silício – imagem ao microscópio electrónico de varrimento (Universidade do Ruhr, Bochum).



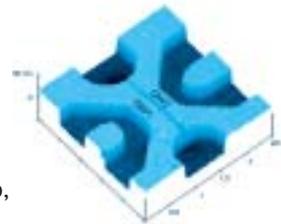
A sonda magnética de um microscópio electrónico de varrimento com spin polarizado analisa as propriedades magnéticas de átomos individuais.

Exercícios de destreza para o computador quântico: o “interferómetro Aharonov-Bohm”, estruturado na Universidade do Ruhr, em Bochum, por meio de um microscópio de força de varrimento.



Circuitos quânticos ligados por túneis – os electrões atravessam passagens que, segundo a teoria clássica, seriam vedadas. As experiências nanotecnológicas começam a acompanhar a teoria.

Nas MRAM, chips magnéticos de memória, a informação é gravada no spin das camadas magnéticas. Esta descoberta, interessante para memórias centrais não-voláteis, poderá, a longo prazo, conduzir à substituição dos discos duros movidos mecanicamente.



A spintrónica está também a ser estudada como tecnologia para um computador quântico (na Universidade de Würzburg, por exemplo).

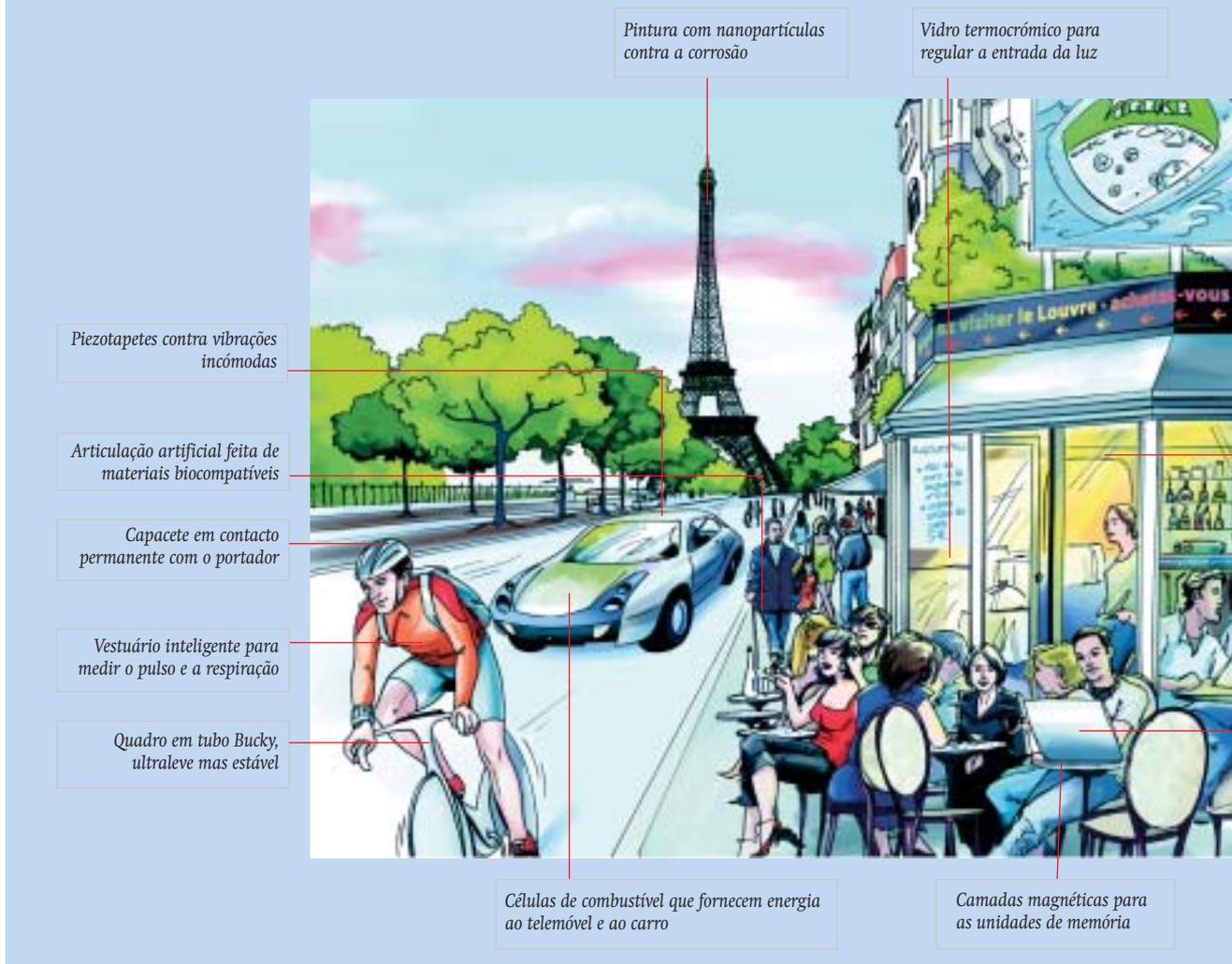
Novos efeitos para discos duros potentes: a cabeça de leitura utiliza a enorme resistência magnética, com um elemento semiconductor de mais de vinte camadas nanométricas.

## Spintrónica – fazer contas com electrões em rotação

Uma autêntica revolução, projectando a Lei de Moore bem para o futuro, poderá ser operada pelos componentes spintrónicos, que, além das propriedades eléctricas do electrão, utilizam as suas propriedades magnéticas, o spin. O spin do electrão manifesta-se como momento magnético ínfimo, que reage de uma forma complexa com outros fenómenos magnéticos e, por isso, pode ser utilizado para funções electrónicas. Está já activa uma aplicação desta spintrónica ou magnetoelectrónica: os novos discos duros dispõem de cabeças de leitura de película fina com “spin valve”, que – baseados na enorme resistência magnética – descobrem domínios magnéticos muito pequenos, desse modo permitindo densidades de memória elevadíssimas.



### Nanotecnologias no quotidiano futuro



Quando a nanotecnologia entrar no quotidiano, nada de extraordinário terá de mudar externamente. Continuaremos a frequentar cafés ao ar livre, e talvez até com mais prazer do que hoje, pois o ronco dos motores a explosão terá sido substituído por um discreto zunido, como o que se ouve ao fechar das portas na nave espacial Enterprise. O cheiro de combustível queimado cedeu lugar ao odor, ocasional e quase imperceptível, do metanol que alimenta as pilhas de combustível. O serviço é muito expedito: ao teclarmos na ementa o que desejamos, a electrónica chega à cozinha. Para pagar, toca-se com o cartão de crédito ou débito no símbolo do euro a um canto da ementa. As moedas, cujo tilintar é tão agradável, continuam a existir para a gorjeta, mas são higienicamente revestidas com nanopartículas antibacterianas. As janelas dos cafés tornaram-se caríssimas, pois desempenham uma porção de funções – o que, em consequência, as embaratece: resistem à sujidade e aos golpes, escurecem quando há

excesso de luminosidade, convertem luz em electricidade e, se se quiser, iluminam-se como ecrãs gigantes: será um prazer acompanhar o Campeonato do Mundo com os amigos na esplanada ou no interior do café.

Com o amadurecimento da nanoelectrónica, serão concebíveis aparelhos de uma elegância fascinante, como a PDA (“Personal Digital Assistant”, a agenda digital) no formato de um cartão de crédito (seria possível reduzi-la ainda mais, mas o ser humano exige instrumentos manuseáveis). Num monólito negro opaco, sem estruturas reconhecíveis, a cor negra capta a luz solar e converte-a em electricidade. Coberto com uma finíssima camada de diamante que o protege contra a abrasão, tendo por baixo uma fina camada de piezocerâmica que converte som em electricidade e vice-versa, permite comunicações orais. Naturalmente, pode também executar transferências de dados pela luz e pela rádio. Tem capacidade visual, através de uma



OLED (díodos orgânicos fotoemissores) nos ecrãs

Películas fotovoltaicas que convertem luz em electricidade

LED (díodos fotoemissores) que fazem concorrência às lâmpadas de incandescência

Placas resistentes à abrasão, com efeito lótus

Ementa de cartão electrónico

Nanotubos nos ecrãs dos novos computadores

Tecido com revestimento anti-nódoas



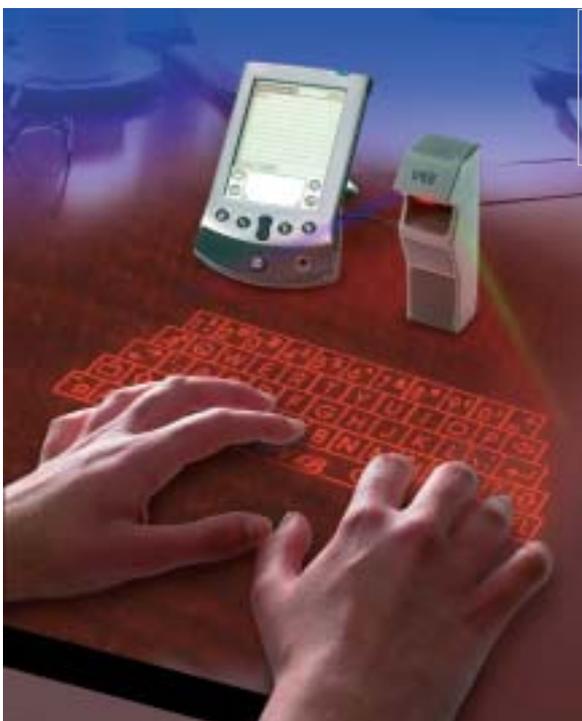
Nanopartículas de nanossoluções, embora invisíveis à luz normal, fluorescem em luz ultravioleta. Finamente dispersas em meios líquidos, podem ser manuseadas pela técnica do jacto de tinta sob pressão, sem alterar o design ou a função do objecto marcado. Os nanopigmentos servem, pois, como óptimo meio contra falsificações.



“Vidro fotocromático”: de transparência electronicamente controlável, servirá para a climatização dos escritórios de amanhã.

objectiva plana e de um chip de alta resolução para conversão de imagens. Acende-se como ecrã, transformando-se em banda magnética, câmara fotográfica, videogravador, televisor, telemóvel e sistema de posicionamento global (GPS), tudo num só aparelho. Pode ler, traduzir e explicar a ementa num Café de Paris, transmiti-la em francês polido e pagar a conta.

Obviamente, reconhece a voz e a impressão digital do utilizador autorizado, protegendo-se assim contra abusos.



Teclado virtual: o toque de uma tecla é reconhecido pelo sistema e interpretado como pressão da tecla.

Tal como noutras máquinas, também no automóvel a nanotecnologia substituirá a quantidade pela qualidade. A vantagem é poder dispensar matéria. A técnica reconcilia-se com a Natureza.

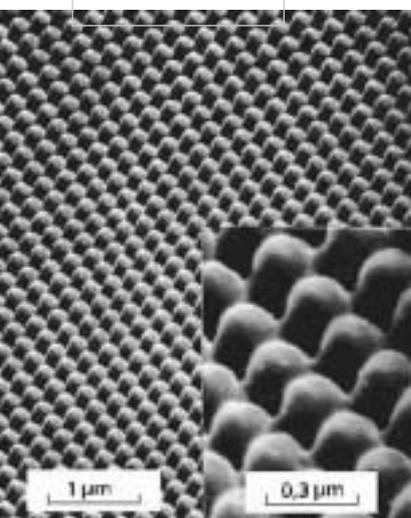
#### Nanotecnologia no automóvel

*Pequenas estruturas, grandes perspectivas: por meio destas estruturas microscópicas, evitam-se os incómodos reflexos luminosos nos visores e janelas dos automóveis. O modelo é o olho da borboleta noturna, que precisa de ver o mais possível na escuridão sem ser vista.*

O pára-brisas pode ser tornado mais resistente com revestimentos fabricados por tecnologia sol/gel, contendo partículas nanométricas duras. A transparência é total, pois as nanopartículas, pequeníssimas, não dispersam a luz. O princípio funciona já para os vidros dos óculos, embora ainda imperfeitamente. A pintura do automóvel poderá ser guarnecida com uma estrutura em pétala de lótus, que repele a sujidade.

Na climatização do automóvel, o pára-brisas poderá ser guarnecido com componentes nanométricos, que reflectem electronicamente, com intensidade variável, a luz e a radiação térmica. Aplicada aos espaços de escritórios, esta técnica permitirá poupar muita energia.

A luz de que o automóvel necessita é já hoje, em grande parte, produzida nanotecnologicamente: os LED (díodos fotoemissores) das luzes de travagem de alta qualidade têm – como todos os LED – sistemas de revestimento refinados, à escala nanométrica, que convertem electricidade em luz, muito mais eficazmente. Uma outra vantagem: os LED transformam quase de imediato a electricidade em luz detectável pela vista humana, ao passo que as luzes de travagem com lâmpadas de incandescência demoram mais. A diferença pode valer alguns metros de distância de travagem. Entretanto, a intensidade luminosa dos LED tornou-se tão elevada que conjuntos deles podem servir para a luz de cruzamento dos faróis dianteiros.



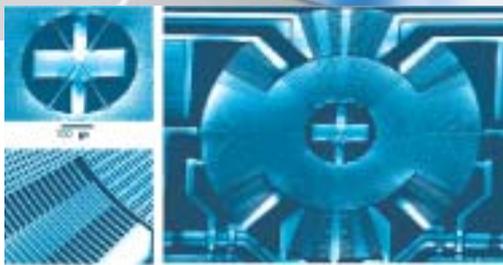
Aplicados a semáforos, os LED poupam em manutenção e energia. O período de amortização é de apenas um ano.



O ABS (sistema de travagem antibloqueamento) e o ESP (programa electrónico de estabilidade) intervêm em situações críticas. Os sistemas futuros evitarão o perigo automaticamente.



Injector para motor diesel. Os sistemas do futuro terão camadas de protecção contra o desgaste, de tipo diamante e com poucas dezenas de nanómetros de espessura.



Órgão de equilíbrio em silício: sensor de rotação para a estabilização do veículo.



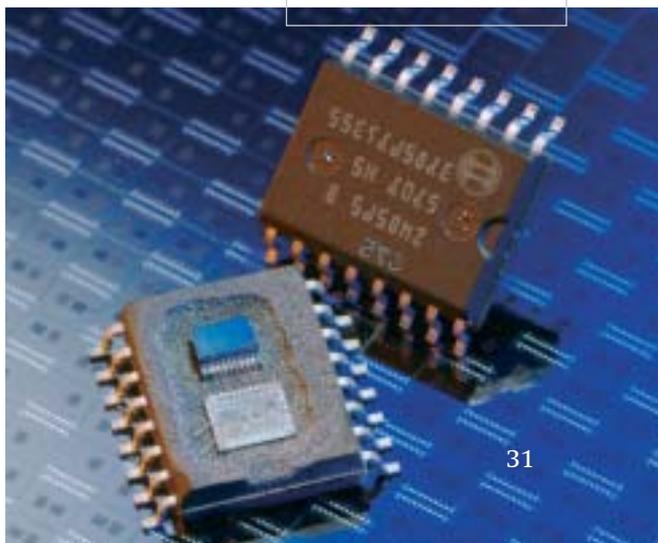
Os LED brancos adquiriram tal intensidade luminosa que poderão servir no futuro para produzir as luzes dianteiras de cruzamento.

A pintura poderá também ser aplicada por nanotecnologia para servir como célula fotovoltaica ou solar (uma opção ainda não concretizada). A sua energia recarregará a bateria durante o estacionamento – o que já é possível com células fotovoltaicas convencionais – ou refrigerará a cabina com uma bomba de extracção de calor. Por

sua vez, esta última poderá também consistir num sistema nanotecnológico de camadas semicondutoras sem partes móveis. Quando, inversamente, a considerável perda térmica de um motor de explosão é canalizada por um tal semicondutor, obtém-se de novo energia eléctrica (ver igualmente “Termoeléctrica”, em “Energia e Ambiente”).



As células de combustível (v. p. 33) proporcionarão uma condução não-poluente. Se o combustível hidrogénio provier também de fontes renováveis, o sistema será garantidamente amigo do ambiente.



Electrónica ao serviço da segurança instantânea: sensor de aceleração para um airbag dianteiro.

Tratamento do couro com cápsulas nanométricas de perfume.

### Catalisadores de ouro

A nanotecnologia pode também proporcionar ao ouro uma nova carreira. Embora o ouro “comum” fique muito aquém da platina como catalisador, nanopartículas de ouro sobre um suporte poroso proporcionam um catalisador prático que, num arranque a frio, decompõe os óxidos de azoto e o monóxido de carbono em substâncias inócuas. As nanopartículas de ouro são também um novo e promissor candidato a catalisador para as células de combustível.

Naturalmente, todos estes avanços beneficiarão outros meios de transporte que nada têm a ver com o automóvel. O velocípede, por exemplo, entender-se-á excelentemente com a nanotecnologia (células de combustível e células solares, sobretudo), criando a máquina do “movimento perpétuo”, que se move silenciosamente e só por luz, ar e água, com peso ultraleve graças a um esqueleto de nanofibras de carbono, iluminação por LED e outras aplicações.

Urinol de área de serviço com tecnologia de microsistemas à prova de vandalismo. Revestimentos nanométricos com “efeito lótus” tornarão mais fácil a limpeza e a manutenção.



Nanopartículas de ouro para novos catalisadores.

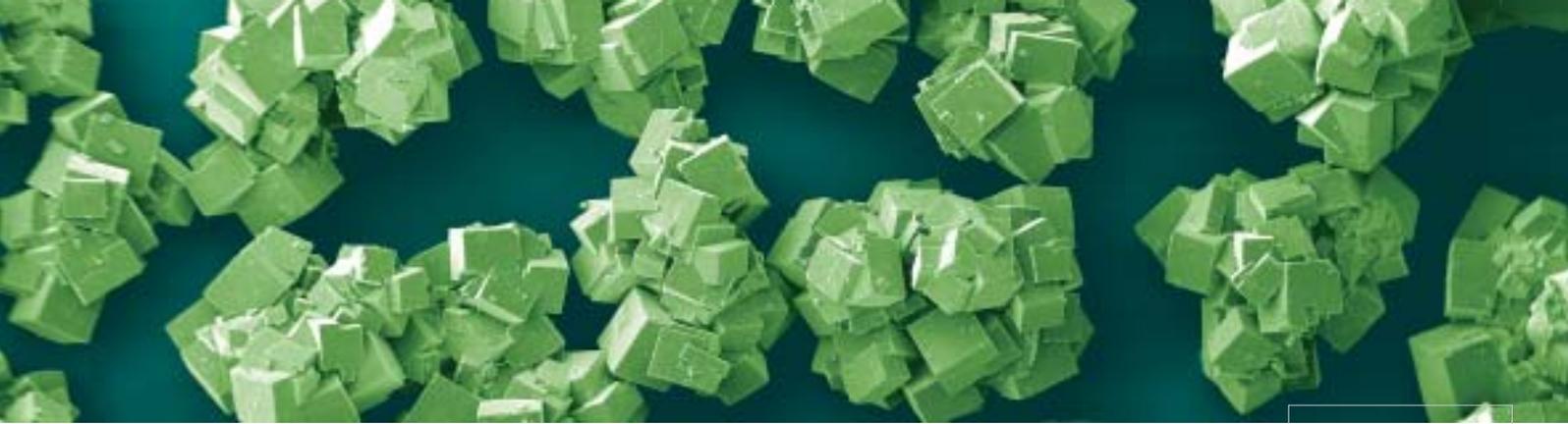
### Ouro contra odores

Os catalisadores com nanopartículas de ouro estão simultaneamente a ser testados na remoção de odores. Em pequenos sistemas de climatização como os dos automóveis, podem eliminar os odores incómodos causados por bactérias. No Japão, são já utilizados nas casas-de-banho.

### Nanotecnologia nas áreas de serviço

Os automobilistas podem já encontrar tecnologia de microsistemas nas áreas de serviço. Os urinóis mais modernos contêm sensores que anunciam a menor subida de temperatura aos instrumentos electrónicos associados, o que desencadeia a descarga de água. A energia eléctrica é fornecida por uma miniturbina hidráulica movida pela descarga de água. Ao contrário dos sistemas com sensores infravermelhos, este não pode ser bloqueado por uma simples pastilha elástica.

Em comparação, os urinóis nanotecnológicos funcionam de um modo simultaneamente mais simples e refinado: pelo efeito lótus nas paredes, os líquidos são repelidos, escorrem por uma película líquida que elimina odores e somem-se sem deixar vestígios. A realidade terá de demonstrar a verdade de tudo isto. Estas tecnologias são também, obviamente, próprias para uso privado.

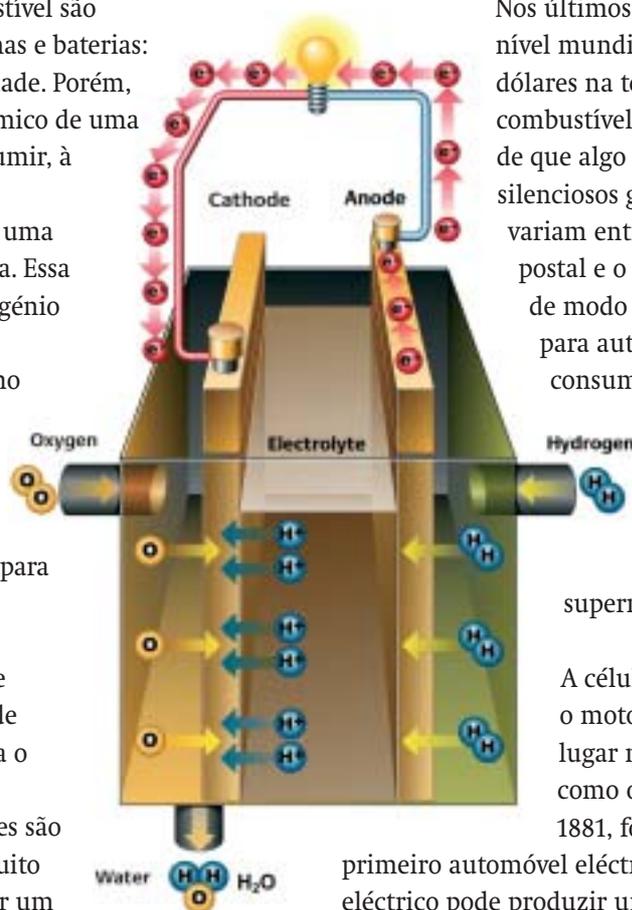


Com a sua nanoporosidade, os "nanocubos" metálicos da BASF podem armazenar grandes quantidades de hidrogénio.

## Célula de combustível – um gerador para mil e uma utilizações

As células de combustível são semelhantes às pilhas e baterias: fornecem electricidade. Porém, enquanto o conteúdo químico de uma bateria acaba por se consumir, à célula de combustível é continuamente fornecida uma substância rica em energia. Essa substância pode ser hidrogénio puro ou um fluido que contenha hidrogénio, como gás natural ou óleo de colza. Nos dois últimos casos, o hidrogénio tem portanto que ser extraído num "reformer" para poder agir na célula de combustível. Quando o hidrogénio e o oxigénio se combinam, há migração de electrões do primeiro para o segundo. Na célula de combustível, estes electrões são empurrados para um circuito externo, capaz de accionar um motor ou aparelho similar. Como produto final da reacção, água pura.

As células de combustível têm um elevado rendimento, dependente do tipo mas bastante independente do tamanho. São produzidas em diversas variantes. A nanotecnologia pode contribuir para esta técnica com películas cerâmicas, superfícies nanoestruturadas e nanopartículas catalíticas.



Nos últimos anos, foram injectados, a nível mundial, 6-8 mil milhões de dólares na tecnologia das células de combustível, e não é razoável duvidar de que algo resultará. Estes silenciosos geradores de electricidade variam entre o tamanho de um selo postal e o de um contentor naval, e de modo nenhum servirão apenas para automóveis. Para pequenos consumidores, a fonte de hidrogénio poderá ser uma mistura não-inflamável metanol-água, com "reabastecimento" no supermercado.

A célula de combustível ajudará o motor eléctrico a recuperar o lugar na escadaria da glória como o melhor dos motores (em 1881, foi conduzido em Paris o

primeiro automóvel eléctrico). Só o motor eléctrico pode produzir um rendimento superior a 90%, e só ele pode funcionar como gerador e, simultaneamente, como reconversor da energia cinética em energia eléctrica (na travagem do veículo, por exemplo). A matéria-prima magnética dos novos motores e geradores eléctricos, extremamente boa, é também, naturalmente, de nanocristais.

As células de combustível podem também ter utilização doméstica, fornecendo simultaneamente electricidade e calor.



Um pequeno-almoço avançado, em 2020:

Ainda há café? Claro, e sumo de laranja? Naturalmente, mas a embalagem poderá conter, dentro, algo especial, como uma “língua electrónica”, que prova o sumo para detectar a sua eventual deterioração.



Ou, fora, um sensor que, pela transpiração dos dedos, analisa a carência de cálcio e outras deficiências, corrigíveis por meio da “alimentação funcional”. Talvez um vulgar queijo de cabra: a etiqueta de OLED (díodo orgânico fotoemissor) recomendará o mais adequado.

O creme de dia (também já hoje disponível) contém nanosferas de óxido de zinco contra os malefícios dos raios ultravioletas. As esferas são obviamente invisíveis, pelo que o creme não é branco, mas totalmente incolor.

Em cima, à esquerda: películas com nanopartículas conservam os alimentos frescos durante mais tempo.

Em cima, à direita: embalagem inteligente com chip emissor-responder de base polimérica.

O espelho da casa-de-banho, equipado com nanoelectrónica, não reflecte apenas – informa também, se necessário. E até manifesta reservas quanto ao sumo de laranja, pois este contém açúcar, uma substância propícia ao aparecimento de cáries. Um outro papel da nanotecnologia: pasta dentífrica (já hoje disponível) com esferas nanodimensionais de apatite e proteína, componentes naturais que ajudam a reconstituir os dentes (ver igualmente “Biomíneralização”).

### Espiões na ponta dos dedos

Com nanotecnologia, nanoelectrónica, técnica de microssistemas, etc., tornam-se possíveis aparelhos de análise complexos, igualmente ao alcance do uso doméstico. No futuro, bastará uma pequena picada no dedo para a análise do sangue. Valores do colesterol correctos? Nível de açúcar dentro do normal? As medições podem ser enviadas, via Internet, ao nanocentro médico mais próximo, onde, conforme necessário, é requerida uma análise rigorosa ou é composto em microrreactores, por nanobiotecnologia, um medicamento específico.

No organismo, os medicamentos transportam nanopartículas com um revestimento de protecção que só lhes permite agirem no foco da enfermidade. “Drug delivery” – ministração do agente medicamentoso com precisão máxima. Os médicos mantêm-se atentos a esta evolução.

Equipamento inteligente: o espelho com meios nanoelectrónicos orienta o escovar dos dentes.



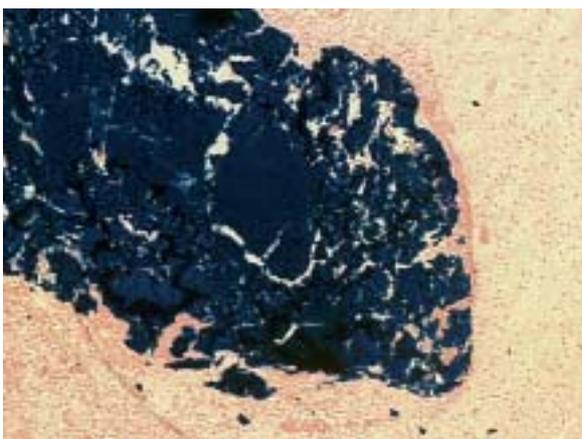


*Diagnóstico do futuro. Métodos cada vez mais onerosos manter-se-ão acessíveis graças a nanotecnologias.*

## Cápsulas medicamentosas supramoleculares

Os medicamentos administrados poderão, por sua vez, sofrer um aperfeiçoamento extraordinário. São encerrados em moléculas vazias supramoleculares (em fase de investigação), que funcionam como transportadores nanométricos providos de antenas às quais se fixam anticorpos de proteínas sensoriais semelhantes. Entrando em contacto com as estruturas típicas do agente patológico – paredes de células cancerosas, bactérias, etc. –, as proteínas fixam-se-lhes e enviam um sinal à molécula, que, acto contínuo, se abre e liberta o conteúdo. Com tal nanotecnologia, podem ser levadas altas doses medicamentosas até ao foco da enfermidade sem agredir o resto do organismo.

“hipertermia magneto-líquida”, que está a ser desenvolvida pelo grupo de trabalho do biólogo Andreas Jordan. Os ensaios clínicos começaram já.



*Células cancerosas de um glioblastoma (tumor encefálico), “saturadas”, até às bordas do tecido são, com nanopartículas de magnetite providas de um revestimento especial. Se as partículas forem aquecidas por um campo electromagnético, o tumor tornar-se-á sensível a tratamentos complementares. A aprovação clínica desta técnica acontecerá já em 2005.*

## Partículas magnéticas para a terapia do cancro

Com um artifício semelhante, podem também ser conduzidas até um foco canceroso nanopartículas magnéticas que, por acção de um campo electromagnético, aquecem, minando o tumor. Nanopartículas atravessam igualmente a rede de filtragem conhecida como “barreira hemato-encefálica”, podendo desse modo aproximar-se de um tumor encefálico. É a chamada

## Torniquetes num chip

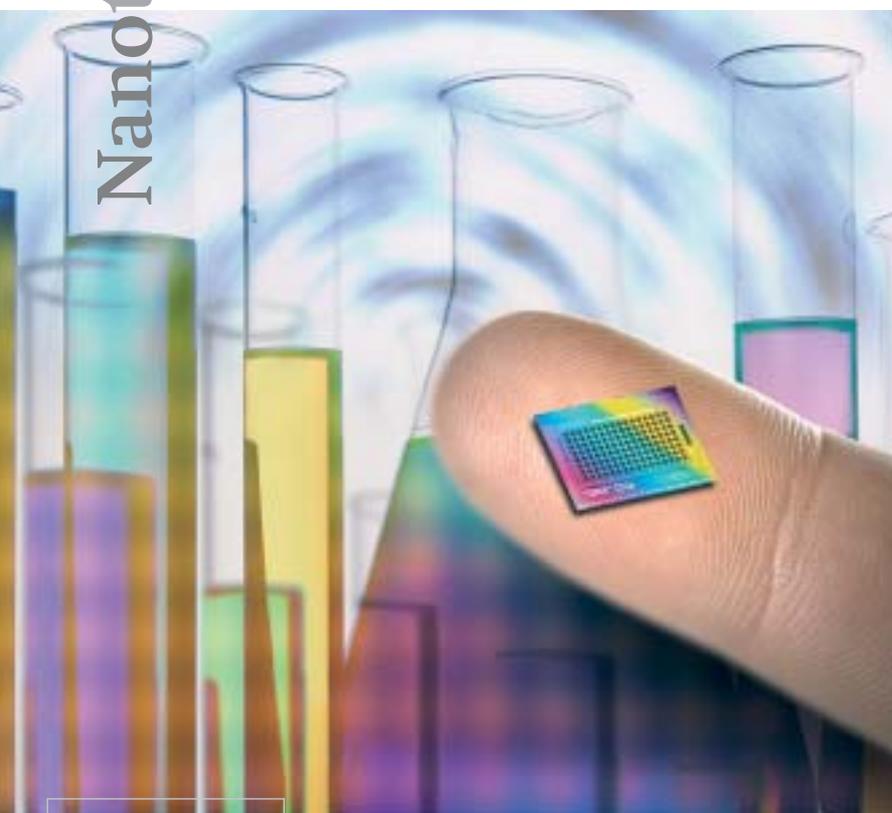
A técnica de microssistemas e a nanotecnologia (sectores não claramente distintos um do outro) só triunfarão no domínio clínico na medida em que miniaturizarem e embaratecerem técnicas conhecidas, eventualmente na ordem das centenas de milhar de vezes ou mais. Uma das aplicações serão as máquinas altamente avançadas que analisarão e seleccionarão, relativamente a características específicas, milhões de células (sanguíneas, por exemplo), à razão de milhares por segundo. O processo poderá ser o seguinte: Adicionam-se ao sangue anticorpos capazes de se

### Saúde

Com poeiras nanométricas, podem ser queimados (sinterizados) corpos de cerâmica certos e fiáveis, para implantes, por exemplo.

fixarem às células que interessam – e só a elas. Ao mesmo tempo, transportam um corante que se ilumina ou fluoresce em presença de luz laser. No seleccionador, as células, aglomeradas em gotículas, são dirigidas para essa luz. Detectando-se um sinal fluorescente, campos eléctricos conduzem a gotícula – e, portanto, a célula – para um vaso colector.

Esta técnica foi parcialmente copiada das



Pequeno mas refinado – o “Lab-on-a-chip”, um laboratório na ponta de um dedo.

impressoras de jacto de tinta. Os seleccionadores de células são aparelhos extremamente complexos, nos quais se combinam micromecânica, óptica e a electrónica mais refinada. São, pois, muito caros. A nanotecnologia reduzirá estes aparelhos do tamanho de torniquetes às dimensões de um selo postal, transformando-os inclusive em produtos descartáveis, o que acelerará consideravelmente o progresso da medicina.



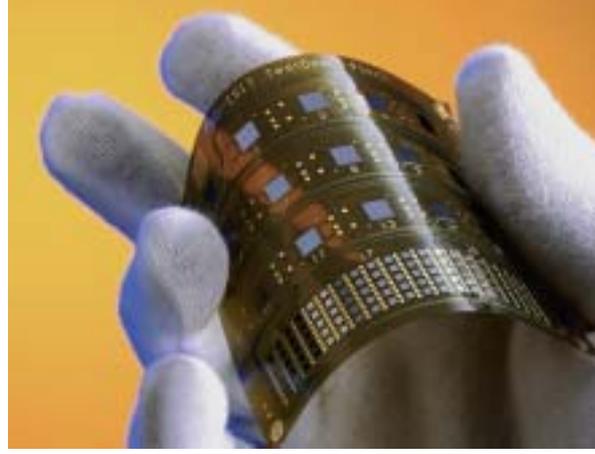
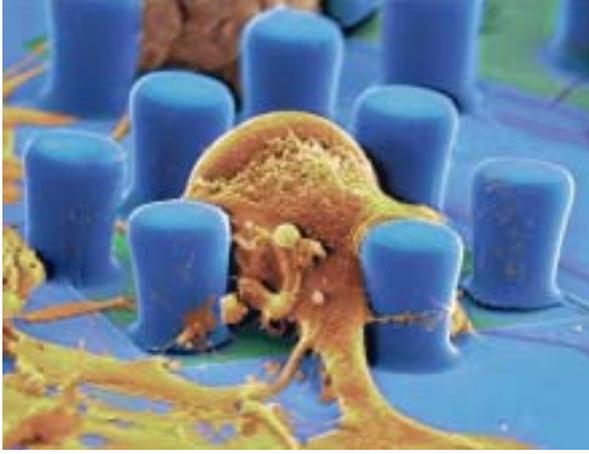
Uma nanotecnologia ainda mais avançada é a que está prevista para o Lab-on-a-Chip (laboratório num chip). Segundo investigadores eminentes, num Lab-on-a-Chip funcionarão coordenadamente milhões de nanoaparelhos. Com poucos centímetros quadrados de área, os chips serão enormes, a comparar com os aparelhos neles contidos, o que se deve ao facto de, no seu interior, terem de circular fluidos que no nanocosmos são viscosos como mel e, por isso, necessitam de espaço. Se, com o nanolaboratório, se conseguirem acompanhar células individuais passo a passo, os Labs-on-a-Chip revolucionarão a biologia. Em última instância, poderá construir-se uma espécie de vídeo, um vídeo da vida. E não nos contentaremos com a observação da célula – interferiremos com ela, olhá-la-emos, veremos como reage, e assim desvendaremos os enigmas da vida.



Implante de retina.

### Neuroprotética

Está neste momento a ser ensaiada uma aplicação extremamente exigente para a técnica de microsistemas e a nanotecnologia – o implante de retina adaptativo (ou seja, capaz de aprender). Visa devolver parcialmente a visão a pessoas que cegaram devido à retinitis pigmentosa. Consiste numa pequena câmara fotográfica



À esquerda: acoplamento de células nervosas a contactos eléctricos.

À direita: chips delgados de silício sobre suporte flexível, para, por exemplo, etiquetas inteligentes que podem ser integradas nas embalagens de produtos alimentares ou no vestuário.

montada em armações de óculos, que conduz as imagens do meio circundante para um processador de sinais capaz de aprender. O processador transfere os dados das imagens, sem fios, para o interior do olho afectado, onde se encontra uma folha flexível com eléctrodos miniaturizados que, em contacto com a retina, a estimulam. Se os ensaios derem bons resultados, tratar-se-á da primeira “interface homem-máquina”, a nível mundial, para a visão. Muitos deficientes auditivos beneficiam há bastante tempo de implantes da cóclea. Com a nanotecnologia, estas próteses continuarão a ser aperfeiçoadas.

### Cuidados domiciliários

A melhoria da nutrição e uma medicina cada vez mais eficaz têm permitido aumentar a esperança de vida de um número crescente de pessoas. Este progresso, incontestavelmente desejável, tem o inconveniente natural de haver mais pessoas a necessitar de assistência. Esta pode ser prestada, em parte, pela nanoelectrónica. Pensa-se, por exemplo, na incorporação de sensores e funções informáticas no vestuário, permitindo

acompanhar permanentemente o estado de saúde – pulso, respiração, metabolismo – dos idosos. Se ocorrerem problemas, o serviço de assistência informa automaticamente o médico de família ou os parentes. O local da ocorrência é assinalado por um GPS incorporado também no vestuário – ou por um módulo do sistema Galileu (futura variante europeia do GPS).

### Enfermeiros automáticos

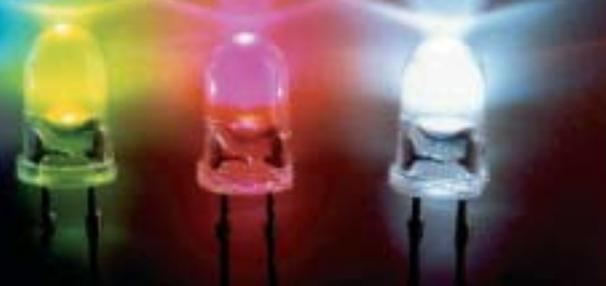
A “velha Europa” tem ainda uma atitude de reserva em relação às máquinas prestadoras de cuidados. No Japão, os robôs móveis aproximam-se da fase de produção industrial em massa. É bem possível que possam também ser criados prestadores de cuidados para o dia-a-dia. Em todo o caso, trabalha-se nesse sentido. A robótica poderá enfrentar, facilmente e em quantidade, o crescimento incessante das capacidades da nanoelectrónica.



Robôs com sensibilidade, produzidos pela Universidade de Oxford. São já aptos a guardar patos, mas, como prestadores automáticos de cuidados, as perspectivas são maiores.



Vestuário inteligente: meios electrónicos integrados, para ouvir música MP3, circular pela cidade e vigiar o pulso – um valor acrescentado, em cima da pele.



Revolução na eficiência por meio de LED (díodos fotoemissores).

Contrariamente ao que até hoje aconteceu na história das tecnologiastécnica, as nanotecnologias podem associar o crescimento económico a uma redução no consumo de materiais.

**A economia na era nano: mais conforto com menos custos materiais.**

Na Europa, a iluminação absorve cerca de 10% da electricidade gerada. Os LED, díodos emissores de luz, produzem já luz branca, pelo que podem substituir a técnica tradicional. A substituição trará como consequência poupanças consideráveis, pois, para produzir a mesma quantidade de luz, os LED necessitam apenas de uns 50% da potência exigida pela comum lâmpada

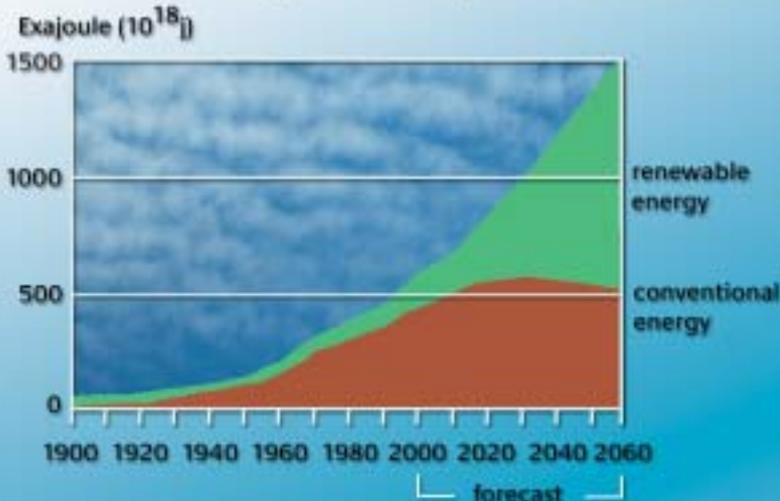
Prognóstico da Shell AG: a nanotecnologia é o meio de eleição para as energias renováveis.

de incandescência. Na Alemanha, por exemplo, o serviço de Ambiente calculou um potencial de poupança de 77% no sector da iluminação.

Nos lares europeus, milhões de televisores à base de tubos de raios catódicos aguardam substituição por aparelhos de LCD (visor de cristal líquido) ou, a mais longo prazo, de OLED (díodos orgânicos fotoemissores). Ambas estas técnicas têm potencial para reduzir em 90% o consumo de energia. LED e OLED são fabricados por nanotecnologia. Se milhões de agregados familiares pouparem alguns kilowatts, chegar-se-á aos gigawatts – a capacidade de várias centrais eléctricas de grande dimensão.

A eficiência das células de combustível é facilmente regulável. Estão já a ser fornecidos a consumidores privados os primeiros aquecedores a gás natural providos de células de combustível, para produção de calor ou electricidade. Se milhões de agregados familiares forem equipados com estes aparelhos, eles poderão ser interligados através da rede eléctrica e da Internet, formando grandes centrais eléctricas virtuais – com uma capacidade máxima

### World energy consumption





*Amplio espectro: fachada de vidro do Hotel Weggis, no Lago Lucerna, iluminada em todas as cores do arco-íris por 84.000 LED da Osram.*

teórica de 100 GW. A longo prazo, o gás natural poderá ser substituído por hidrogénio de fontes renováveis. As nanotecnologias estão a postos, com novos materiais e catalisadores.

As membranas cerâmicas com poros nanoscópicos ganham importância cada vez maior no tratamento de líquidos e no abastecimento de água potável, pois filtram facilmente bactérias e vírus.

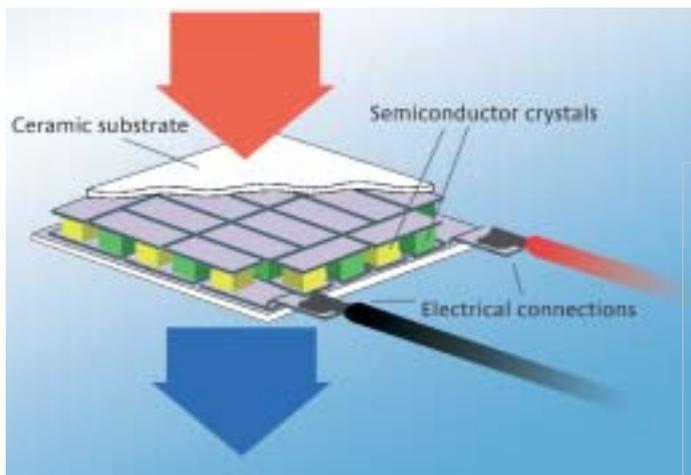
A nanotecnologia tornará lucrativa a energia solar. Semicondutores de liga de índio, gálio e azoto indicam serem possíveis células solares com mais de 50% de eficiência. Porém, a eficiência é só um dos critérios: a nanotecnologia permitirá igualmente um embaratecimento drástico dos colectores de luz, quer pela técnica de películas finas quer pela de partículas. Amostras laboratoriais de películas de células solares, fabricadas por técnicas de revestimento idênticas às dos LED e OLED, geram uma potência eléctrica de 100 W com 30 g de substância - uma redução radical de material na produção de energia, conseguida em Leipzig pela empresa Solarion.

Os investigadores da Siemens reclamam uma eficiência de 5% para as mais recentes células solares orgânicas, que podem ser impressas em películas de plástico e embaratecerão extraordinariamente. A camada fotoactiva tem uma espessura de pouco mais de 100 nm e o tempo de vida é hoje de milhares de horas de luz solar. Os primeiros produtos com esta técnica estão previstos para 2005.

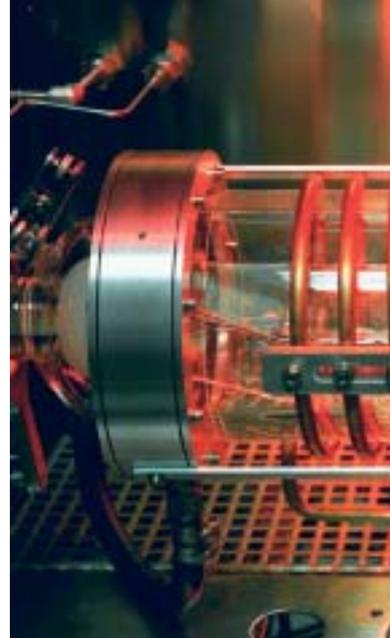
*Em muitos ecrãs, serão instalados OLED (LED orgânicos).*



### Energia e Ambiente



Módulo termoelectrico convencional: um fluxo térmico é convertido em corrente eléctrica por blocos semicondutores. Nanoestruturas conferem a esta técnica índices elevados de rendimento, desse modo franqueando novos mercados.



A nanotecnologia insufla nova vida em muitas ideias antigas, que a ineficiência dos materiais de então levava ao malogro. É o caso da produção termoelectrica de energia:

#### Electricidade a partir de calor, calor a partir de electricidade – termoelectricidade

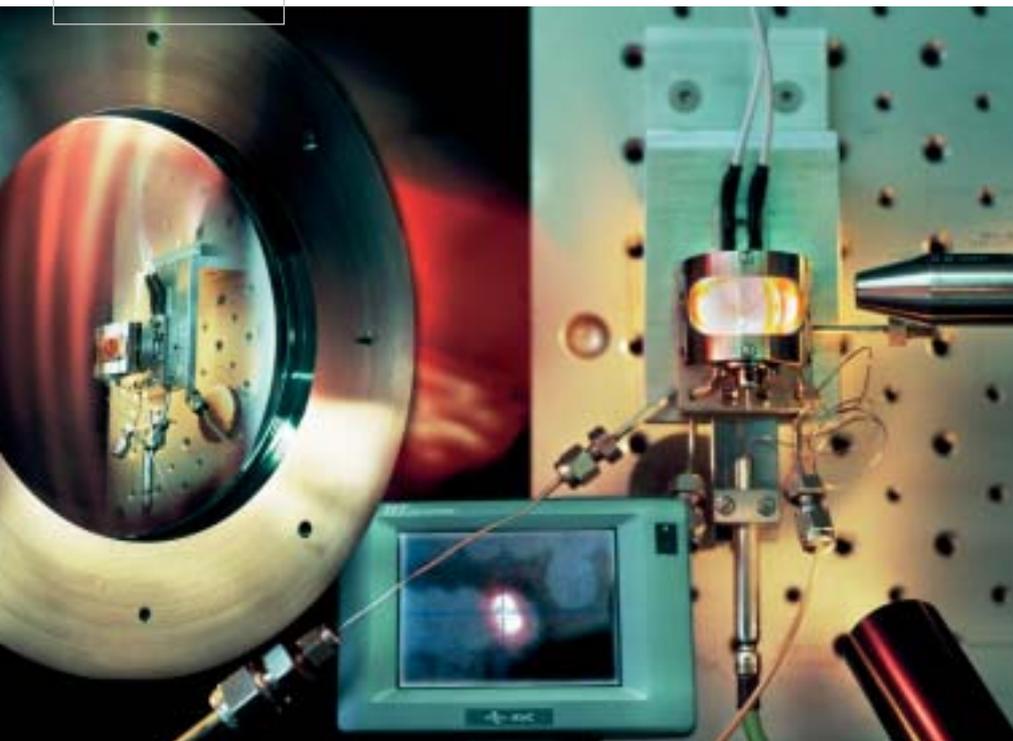
Há uma série de efeitos físicos notáveis, conhecidos há muito mas ignorados pelo público e com pouca expressão em nichos de mercado. Caso, por exemplo, do saco frigorífico, que se liga ao circuito eléctrico do automóvel. No seu interior, funciona, invisível, o legado de Jean-Charles-Athanase Peltier, sábio francês que em 1834

descobriu o seguinte efeito, hoje com o seu nome: uma corrente eléctrica através do ponto de contacto de dois metais diferentes produz calor numa extremidade, frio na outra. Treze anos antes, o alemão Thomas Johann Seebeck descobrira o efeito inverso: um fluxo de calor através do ponto de contacto de dois metais diferentes produz

electricidade. A nanotecnologia vai devolver a glória a estes dois senhores, pois permite fabricar novos materiais, que – finalmente – fornecem ambos os efeitos, com um rendimento excelente.

Na produção destes materiais, estão, uma vez mais, máquinas como as que fabricam os LED. Estas máquinas depositam, por exemplo, uma camada de 5 nm de telureto de antimónio sobre uma película de telureto de bismuto com 1 nm de espessura, repetindo o processo até se obter uma folha compósita semicondutora que teria

Técnica de micro-reacções químicas para fabrico eficiente das substâncias mais exóticas.





Reactores Aixtron para a investigação (esquerda) e para a produção, com precisão atómica, de películas finas de semicondutores compostos (direita).

encantado os senhores Peltier e Seebeck: atravessada por uma corrente eléctrica, uma das suas faces aquece, a outra arrefece. A folha pode ser finamente estruturada, servindo, por exemplo, para um arrefecimento rigoroso de chips ou para executar, num Lab-on-a-Chip, os pequeníssimos vasos de reacção nos quais, mediante mudanças rápidas de temperatura, se faz multiplicar o DNA. É crível que os elementos Peltier, com uma eficiência que está a crescer drasticamente, se tornem o meio de excelência para toda a indústria do frio. Por outro lado, quem dispuser de fontes de calor pouco onerosas, como as geotérmicas, poderá produzir electricidade a baixo preço pelo método das camadas termoeléctricas.

A Islândia tornar-se-ia o Creso da energia, com a produção de hidrogénio por via electrolítica.

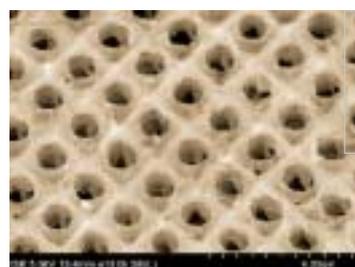
Na indústria química, técnicas como esta transformarão em electricidade quantidades enormes de calor residual – de um modo silencioso, discreto, eficiente. Nanotecnologia pura.

## Energia termofotovoltaica

A termoelectricidade não é o único meio elegante de reverter calor residual em electricidade. As células termofotovoltaicas, por exemplo, utilizam a radiação térmica ou radiação infravermelha (invisível) de objectos quentes. A nanotecnologia reside nas estruturas dos emissores que adaptam o espectro da fonte de calor à sensibilidade espectral das células termofotovoltaicas.



A luz da vela é suficiente para as células termofotovoltaicas accionarem um aparelho de rádio.



Emissores de volfrâmio com superfície nanoestruturada, para adaptação do espectro infravermelho.

### Nanotecnologia para desporto e lazer

**O aperfeiçoamento incessante da tecnologia, agora também à escala nanométrica, ressuscita constantemente velhos sonhos, outrora inviáveis. Entre eles, a ideia de voar por meio da luz solar.**

*Icaré II, um planador solar capaz de resistir aos mesmos esforços que qualquer planador e arrancar por meios próprios.*

*Em cima: conclusão de um voo recorde não-oficial de Estugarda para Jena.*

No dia 12 de Junho de 1979, Bryan Allen elevou-se nos ares, sobre o Canal da Mancha, com o *Gossamer Albatros*, movido unicamente a pedais, ganhando as 100.000 libras do Prémio Kremer. A construção da levíssima aeronave por Paul MacCready fora possível graças a novos materiais. Já em 1981 tivera êxito um voo mais longo por meio de energia solar, mas a aeronave, o *Solar Challenger*, era extremamente frágil.

Em princípios dos anos 90, o município alemão de Ulm lançou um concurso em memória do azarado pioneiro da aviação Albrecht Ludwig Berblinger (“o alfaiate de Ulm”), para concepção de uma aeronave solar viável. Em Julho de 1996, o planador motorizado *Icaré II*, da Universidade de Estugarda, consagrava-se como vencedor supremo.

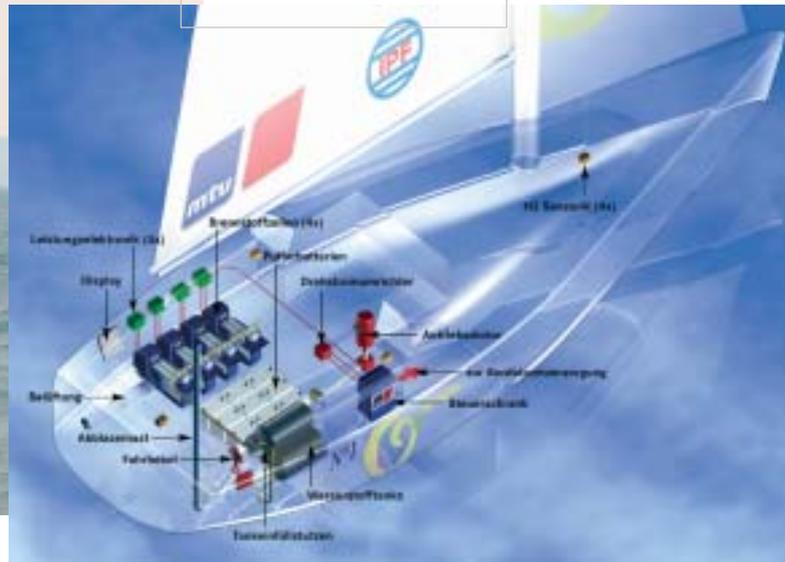
O avião experimental solar HELIOS, da NASA, foi projectado como substituto de satélites, funcionando, de dia, a energia solar e, de noite, por meio de uma pilha “recarregável” de células de combustível. Altitude alcançada: quase 30.000 metros.

Em 2003, reuniram-se na Suíça peritos em termodinâmica, aerodinâmica, sistemas eléctricos, materiais compósitos, energia fotovoltaica, conversão de energia e simulação informática (a nanotecnologia está presente em quase todos estes domínios), a fim de discutirem um projecto que deverá dar asas a novas tecnologias, para um futuro compatível com o ambiente. Dar asas na acepção literal: graças a este ambicioso projecto, Bertrand Piccard e Brian Jones, que em 1999 deram a volta ao mundo em balão, deverão repetir a proeza por volta de 2009 – desta vez numa aeronave movida exclusivamente a energia solar, e sem escalas!





Iate à vela com células de combustível, da empresa MTU, de Friedrichshafen, no Lago Constança. A nanotecnologia pode conferir a estas máquinas uma extrema elegância, graças às velas com células solares de têxtil flexível (que por isso são escuras).



O "Luftwurm" ("verme aéreo") da Universidade de Estugarda, previsto como estação de ligação (relais) de radiotelefonia.

Estudo da empresa Fuseproject: trotineta impelida silenciosamente por uma célula de combustível.

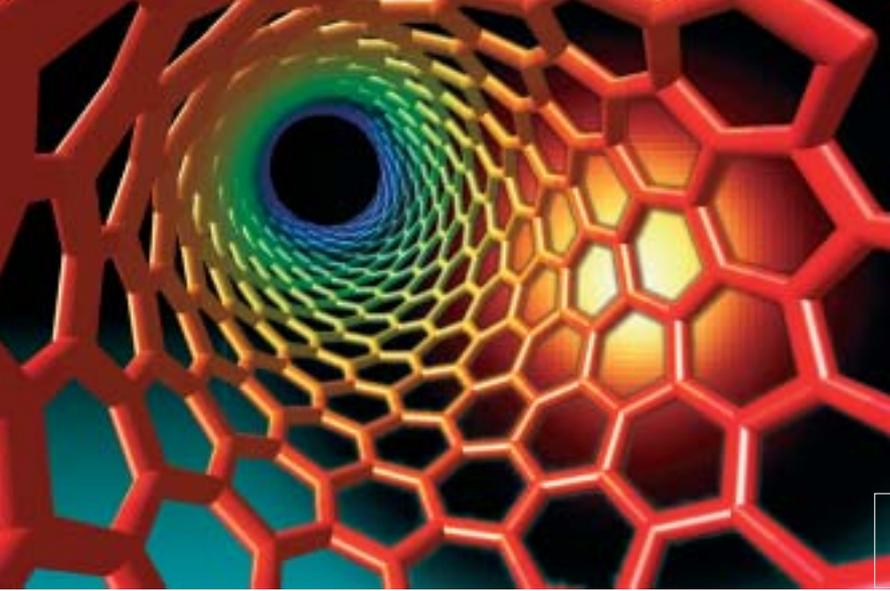
O projecto poderá facultar às novas tecnologias o respeito que merecem e dar origem a toda uma frota de novos veículos, como aeronaves solares guiadas por computadores, por sensores ou pelo GALILEU, nas quais até gente inexperiente poderá viajar – silenciosamente e sem gases de escape. Acima das nuvens, a liberdade não conhecerá limites. Nos lagos, deslizarão catamarãs solares. Os pedelecs, bicicletas movidas a electricidade,

auxiliarão em terra os idosos que, de outro modo, teriam dificuldades. Em muitos locais, estão a ser incentivados pequenos veículos eléctricos, para que, nas zonas em rápida industrialização, as cidades não se afundem em nuvens de gases poluentes.



Catamarã solar da empresa Kopf Solar design GmbH, para transportes fluviais em Hamburgo.





# Visões

*Nanotubos e Betelgeuse, uma estrela gigante, em cuja atmosfera aparecem fulerenos.*

## A estrada dos dedos

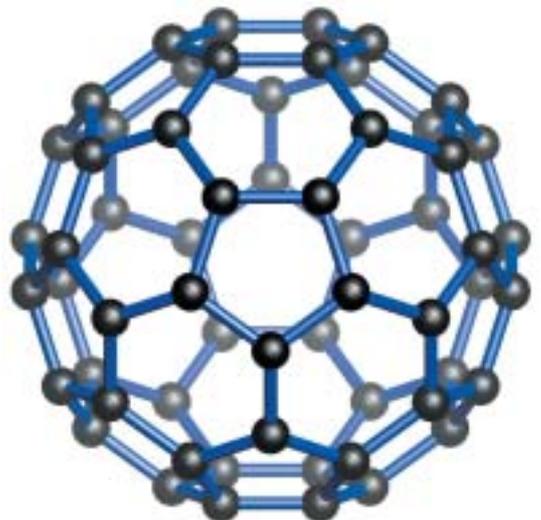
Com as nanotecnologias, são também inteiramente concebíveis sistemas de transporte tidos por utópicos, como a “estrada dos dedos”. Se um dia existirem músculos artificiais funcionais (e trabalha-se nesse sentido), poderemos imaginar uma estrada guarnecida de elementos sinaléticos (dedos), para o transporte, por movimentos oscilatórios, de objectos colocados sobre ela – como os flagelos ou cílios celulares que, numa agitação permanente, removem detritos ou microrganismos dos pulmões. A ideia tem pano para muito requinte: são de qualquer modo alvo de uma séria consideração motores lineares minúsculos, baseados neste princípio, que funcionam com músculos vegetais (“forissomas”). Outros candidatos a músculos artificiais são os tecidos constituídos por nanotubos de fulereno, ideia muito menos fantástica do que o elevador planetário, que a NASA estuda seriamente e que foi primeiro pensado por um pioneiro russo da astronáutica, Konstantín Eduárdovitch Tsiolkóvski.

Konstantín Eduárdovitch Tsiolkóvsky



## Nanotubos de carbono para o elevador orbital

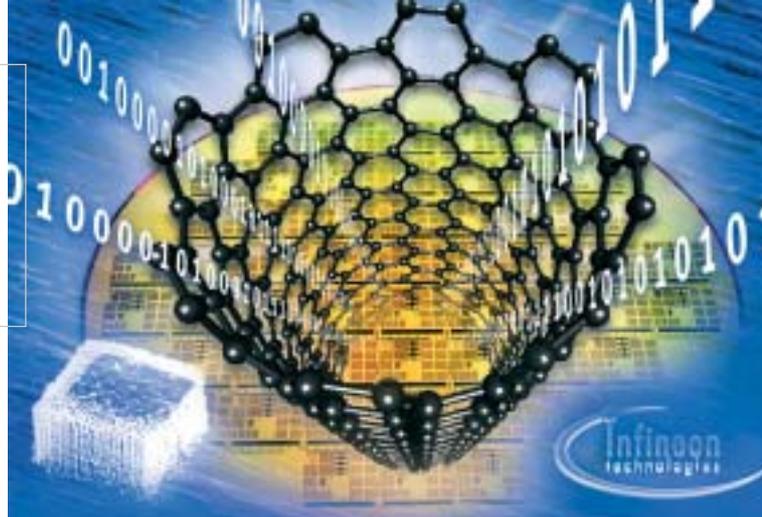
A receita veio do espaço: na orla externa de velhas estrelas, como Betelgeuse, uma gigante vermelha, pulula uma série de elementos que, ao reagirem quimicamente uns com os outros, geram, entre outros produtos, nanocristais de carboneto de silício, óxido de silício, corindo e até diamante. Este fenómeno é conhecido através da análise de meteoritos formados por essas poeiras. Para saberem mais, os cientistas reconstituíram em laboratório as condições das orlas estelares – e, em 1985, encontraram vestígios de uma substância totalmente desconhecida, que se revelou ser uma nova estruturação do carbono: uma molécula oca, com o aspecto de bola de futebol e que observações espaciais recentes revelaram existir também nas orlas externas das estrelas.



*Fulerenos, redes ocas de átomos de carbono, uma esperança na pesquisa de materiais exóticos.*



Moléculas gigantes que funcionam como computadores-mestres: os nanotubos poderão tornar-se a base de chips potentíssimos.



Visão: o elevador interplanetário.

Robert Curl, com os dedos manchados de fulerenos, que lhe mereceram um Prémio Nobel.

Conhecem-se hoje muitas variantes de redes atómicas de carbono, entre as quais os nanotubos com que podem ser criados materiais extremamente compactos e cuja produção em massa é, em princípio, uma questão tecnicamente resolvida.

A essas texturas de nanotubos são entretanto atribuídas resiliências e resistências à tracção astronómicas. A NASA estuda neste momento, com toda a seriedade, um projecto que – recorrendo a um truque do tipo corda indiana encantada – procura criar um “elevador para as estrelas”. Num cenário, é estirada no espaço, por tecnologia convencional de foguetões e satélites, uma faixa de materiais compósitos de nanotubos, com um metro de largura e espessura inferior à de uma folha de papel. Um dos extremos encontrar-se-á a cerca de 100.000 km de altitude, o outro ancorado a um ponto próximo do Equador, no Pacífico. A acção conjugada da força gravitacional e da força “terrífuga” manterá a faixa em equilíbrio. Sobre ela, poderão mover-se cargas de várias toneladas numa órbita terrestre e até em circuitos entre Vénus e o anel de asteróides. Subprodutos aproveitáveis de tais visões: materiais extremamente resistentes, para construir arranha-céus, pontes – e elevadores, naturalmente.

# Oportunidades e riscos

O potencial das nanotecnologias para o bem – ou, pelo menos, para o rentável – é visivelmente grande. As inovações em inúmeros domínios de aplicação vão conferir às nanotecnologias um potencial económico considerável. Na Europa, há já centenas de empresas dedicadas a aplicações comerciais de nanotecnologia, dando emprego e sustento a dezenas de milhar de pessoas, na sua maioria altamente qualificadas. A este respeito, cientistas e empresários são unânimes: a nanotecnologia é muito mais do que uma modernice.

Bom de mais para ser verdade? Na literatura, surgiu já uma supercolónia, aparentemente possível pelo menos em teoria: segundo um romance que se tem vendido bem – “Prey” (“Presa”), de Michael Crichton –, enxames de nanopartículas inteligentes associam-se, constituindo seres de inteligência relativamente avançada que atacam os seus

próprios criadores, a fim de neles se anicharem. Numa outra visão sombria do nanoprofeta americano Eric Drexler, o mundo é ameaçado pela chamada “Gray Goo” (mancha cinzenta), uma nuvem de nanorrobôs desnaturados. Eric Drexler considera

uma possibilidade real fabricar robôs nanoscópicos, com milionésimos de milímetro de tamanho, dirigidos por programas e capazes de construir coisas grandes e inovadoras a partir de matérias-primas pré-preparadas. E, se o processo se descontrolar, aparecerá, em vez de coisas grandes e inovadoras, a própria mancha cinzenta, com eventual contágio e perigo para os seres humanos e outras máquinas.

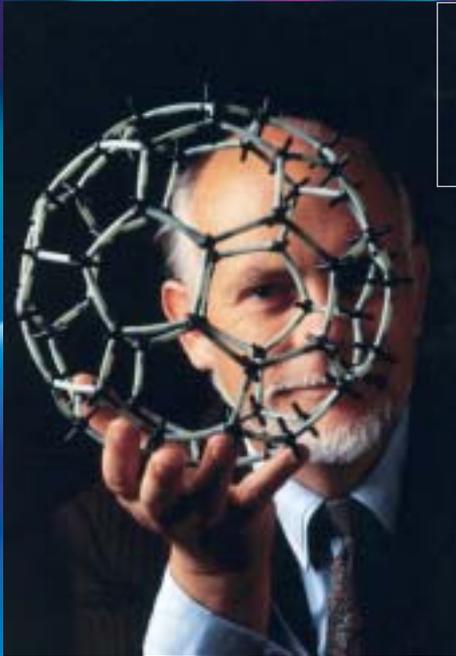
O conceito não é tomado a sério pela maioria dos profissionais. Richard Smalley, por exemplo, Prémio Nobel da Química em 1996, argumenta com as

propriedades da ligação química: nem todos os átomos, nem todas as moléculas, se ligam uns aos outros. Assim se inviabilizaria a própria ideia de um nanobô, um robô nanoscópico, um “assembler” (montador). Se um tal “assembler” organizasse matéria átomo a átomo, teria de o fazer com “dedos”, que, por sua vez, seriam compostos de átomos, portanto necessariamente com uma certa espessura mínima. E não haveria só que agarrar o átomo escolhido – o montador teria de controlar todos os átomos de um nanómetro cúbico, e aí



O cenário da “Gray-Goo”, de Eric Drexler, é tão inverosímil como a suposição de que a nanotecnologia vai transformar o mundo em ursinhos de geleia. Os dedos, demasiado grossos, impedi-lo-iam.





*Richard Smalley, Prémio Nobel da Química, considera – tal como a maioria dos cientistas – que os riscos da nanotecnologia podem ser dominados.*

apareceriam automaticamente os dedos a atrapalhar. É o problema dos dedos grossos. E haveria também o problema dos dedos pegajentos: dependendo do respectivo tipo, os átomos não poderiam ser agarrados e soltos a bel-prazer; sofreriam ligações (um fenómeno bem conhecido: não é fácil largar das mãos uma bola pegajosa). E estes são obstáculos de princípio, que não há modo de contornar. Portanto, os nanobôs mecânicos são uma impossibilidade. Richard Smalley deve ter razão: é infundado o medo de que hordas de nanomáquinas desnaturadas se lancem sobre o mundo, transformando-o numa mancha cinzenta.

Já mais fundado é o receio de que as nanopartículas possam ter também efeitos indesejados sobre os seres humanos e o ambiente: feitos a nível da saúde, por exemplo, já que a sua pequenez lhes permite, precisamente, penetrar nas células e até vencer barreiras biológicas (como a hemato-encefálica). Uma vez que se trata de substâncias passíveis de acarretar efeitos secundários desconhecidos – tal como, aliás, outras poeiras ultrafinas, entre as quais a fuligem de gásóleo, nos gases de escape dos automóveis –, a investigação científica deve, antes de mais, aclarar a sua inocuidade. De momento, há apenas uma percepção vaga quanto à segurança das

nanopartículas, pelo que as perguntas em aberto devem ser respondidas o mais urgentemente possível mediante os trabalhos pertinentes de nano-investigadores e toxicólogos. Todavia, o risco parece controlável, porque, quando em liberdade, as nanopartículas são extremamente “pegajosas”. Aglomeram-se muito rapidamente em corpúsculos maiores, que o organismo elimina sem dificuldade. Sabemos já que algumas não prejudicam a saúde. São incorporadas no creme solar como factor de protecção da luz ou ligadas a outros materiais de uma forma tal que o utilizador não entra em contacto com nanopartículas individuais. Além disso, a indústria, através de medidas de segurança adequadas, procura igualmente suprimir ao máximo quaisquer riscos sanitários, não só para os clientes como para os empregados.

Se bem que as visões de nanobôs sejam hipotéticas, parecem bastante reais as promessas dos especialistas em materiais à escala nanoscópica. Os primeiros produtos estão já aí, como as cabeças ultra-sensíveis de leitura de discos duros, com camadas de vinte e poucos nanómetros de espessura. A nanoelectrónica entra em todos os novos computadores portáteis. Como tecnologia potente que é, a nanotecnologia terá também, naturalmente, efeitos colaterais, tornando supérfluas muitas acções simples. Mas serão criados muitos domínios de actividade. A aprendizagem permanente (ou ao longo da vida) adquire importância crescente, mas isso poderá ser também um prazer – com nanotecnologia.

# Outras informações

## Como posso tornar-me nanoengenheiro?

Quem visita um instituto de investigação dedicado intensivamente às nanotecnologias vê literalmente, lado a lado, todas as disciplinas de ciências naturais: biólogos, químicos, engenheiros dos mais diversos ramos, cristalógrafos, mineralogistas, físicos – o denominador comum é o nível atómico, e uma parte da linguagem comum é a Matemática. Embora todos os cursos clássicos de ciências naturais possam, pois, conduzir à nanotecnologia, esta começa entretanto a estabelecer-se como disciplina independente – caso, por exemplo, da Universidade de Würzburg, onde Alfred Forchel, catedrático de Física, opina que quem se dedicar às nanotecnologias não deve reear perseguir uma tendência passageira (excerto de “abi 10/2003”, da Universidade de Würzburg):

*...porque a tendência para a miniaturização não é efémera – tem já muito trabalho atrás de si. É patente que, em muitos domínios, as aplicações diminuem progressivamente de escala, descendo, por assim dizer, do micro ao nano, na Tecnologia da Informação como na Química. Não são precisos dotes de vidente para constatar que tudo está a reduzir-se – e a reduzir-se o mais possível (são exemplo os componentes).*

Qualquer físico, químico ou outro especialista de ciências naturais pode sustentar, com razão, ter-se já dedicado a nanotecnologias. Os temas da Física Atómica clássica, as moléculas de que falam os químicos, pertencem ao nanocosmos. Com as possibilidades de experimentação hoje ao nosso alcance (estruturação, com precisão atómica, de clusters, camadas ou chips, fornecimento de substâncias do mais elevado grau de pureza, exploração das mais finas estruturas biológicas), abriu-se uma cornucópia de possibilidades inteiramente novas, úteis também para a Engenharia aplicada. Alfred Forchel entende que há perspectivas profissionais verdadeiramente auspiciosas para os nanoengenheiros:

*No nosso ramo, as hipóteses de colocação dependem também, naturalmente, da conjuntura. Mas coisas relativamente insignificantes marcam, muitas vezes, a diferença: quando nas empresas dão entrada pilhas de candidaturas, é difícil a alguém sobressair. Graças aos nossos cursos de formação prática na indústria, pelo menos uma firma acaba por conhecer os estudantes de perto. Os nossos estudantes podem também preparar as suas teses na indústria, um passo mais perto para a colocação. Além disso, concluem pelo menos uma formação opcional não-técnica, como Gestão e Economia Empresarial, dispondo, por conseguinte, de importantes bases suplementares para a vida profissional.*

Todavia, os nanoengenheiros, em Würzburg ou onde quer que seja, não podem fugir a uma sólida formação em ciências naturais (Matemática incluída):

Não basta sonhar com a criação de um submarino capaz de navegar pelas veias. Antes disso, é preciso investir em tempo e trabalho. Temos de aprender a representar as coisas matematicamente, a dominar a Física e a Química, ou seja, os alicerces mais difíceis. Não há motivo para desânimo: as nanofantasias podem até dar uma ajuda.

A história do submarino navegando nos vasos sanguíneos era apenas cinema. Nanotecnologia é outra coisa, mas igualmente bastante rentável.

## Contactos, links Internet, bibliografia

De notar que a presente brochura tem origem no Ministério Alemão Federal de Educação e Investigação (BMBF). Foi, pois, escrita inicialmente para o público alemão. Para acesso a cursos, bibliografia e websites europeus, para além dos alemães, consultar o portal Internet da Comissão Europeia sobre nanotecnologia ([www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)).

### Estudos sobre nanotecnologias:

**Studiengang Nanostrukturtechnik in Würzburg**  
Universität Würzburg  
Website: <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/nano/>  
Contacto: [ossau@physik.uni-wuerzburg.de](mailto:ossau@physik.uni-wuerzburg.de)

**Bio- und Nanotechnologien in Iserlohn**  
Fachhochschule Südwestfalen  
Website: <http://www2.fh-swf.de/fb-in/studium.bnt/bnt.htm>  
Contacto: [Werner@fh-swf.de](mailto:Werner@fh-swf.de)

**Molecular Science in Erlangen**  
Universität Erlangen-Nürnberg  
Website: <http://www.chemie.uni-erlangen.de/>  
Molecular-Science  
Contacto: [hirsch@chemie.uni-erlangen.de](mailto:hirsch@chemie.uni-erlangen.de)

**Masterstudiengang Mikro- und Nanotechnik in München**  
Fachhochschule München  
Website: [http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro\\_nano/home.htm](http://www.fh-muenchen.de/home/fb/fb06/studiengaenge/mikro_nano/home.htm)  
Contacto: [sotier@physik.fh-muenchen.de](mailto:sotier@physik.fh-muenchen.de)

**Nanomolecular Science in Bremen**  
International University Bremen  
Website: <http://www.faculty.iu-bremen.de/plathe/nanomol>  
Contacto: [f.mueller-plathe@iu-bremen.de](mailto:f.mueller-plathe@iu-bremen.de)

**Nanostrukturwissenschaft - Nanostructure and Molecular Sciences in Kassel**  
Universität Kassel  
Website: <http://www.cinsat.uni-kassel.de/studiengang/studiengang.html>  
Contacto: [masseli@physik.uni-kassel.de](mailto:masseli@physik.uni-kassel.de)

**Experimenteller Bachelor-Studiengang mit dem Abschluss Bachelor of Science in Biophysik oder Nanowissenschaften in Bielefeld**  
Universität Bielefeld  
Website: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/nano.html>  
Contacto: [dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de](mailto:dario.anselmetti@Physik.Uni-Bielefeld.de)

**Diplom-Studiengang „Mikro- und Nanostrukturen“ in Saarbrücken**  
Universität des Saarlandes  
Website: <http://www.uni-saarland.de/fak7/physik/NanoMikro/InfoMikroNano.htm>  
Contacto: [wz@lusi.uni-sb.de](mailto:wz@lusi.uni-sb.de)

### Referências bibliográficas:

**BMBF-Programm IT-Forschung 2006 – Förderkonzept Nanoelektronik**  
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, März, 2002.

**Vom Transistor zum Maskenzentrum Dresden, Nanoelektronik für den Menschen**  
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Oktober, 2002.

**Nanotechnologie erobert Märkte- Deutsche Zukunftsoffensive für Nanotechnologie**  
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, März 2004.

Bachmann, G.:  
**Innovationsschub aus dem Nanokosmos: Analyse & Bewertung Zukünftiger Technologien (Band 28)**  
Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des BMBF; 1998.

Luther, W.:  
**Anwendungen der Nanotechnologie in Raumfahrtentwicklungen und -systemen**  
Technologieanalyse (Band 43)  
Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des DLR; 2003

Wagner, V; Wechsler, D.:  
**Nanobiotechnologie II: Anwendungen in der Medizin und Pharmazie**  
Technologiefrüherkennung (Band 38)  
Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des BMBF; 2004.

Hartmann, U.:  
**Nanobiotechnologie – Eine Basistechnologie des 21. Jahrhunderts**  
ZPT, Saarbrücken, 2001.

Rubahn, H.-G.:  
**Nanophysik und Nanotechnologie**  
Teubner Verlag 2002

**Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft-WING**  
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung; Bonn, Oktober 2003.

---

### Links Internet:

Investigação sobre nanotecnologias na UE  
[www.cordis.lu/nanotechnology](http://www.cordis.lu/nanotechnology)

Portal europeu sobre nanotecnologia  
[www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org)

Nanotruck – Viagem ao nanocosmos  
[www.nanotruck.net](http://www.nanotruck.net)

Viagem pela Internet para além da vírgula decimal  
[www.nanoreisen.de](http://www.nanoreisen.de)

Fóruns de notícias e debate sobre nanotecnologias  
[www.nano-invests.de](http://www.nano-invests.de)

Apoio do BMBF no domínio das nanotecnologias  
<http://www.bmbf.de/de/nanotechnologie.php>

Portal do VDI-TZ sobre nanotecnologia  
[www.nanonet.de](http://www.nanonet.de)

**Célula de combustível:** Aparelho no qual se combinam, sem inflamação, oxigénio (maioritariamente atmosférico) e hidrogénio, produzindo água e libertando, com elevado rendimento, energia eléctrica.

**Cluster:** Pequeno agregado de partículas muito pequenas, neste caso átomos. Os clusters exibem quase sempre propriedades distintas das dos sólidos macroscópicos do mesmo material, porque, entre outras razões, contêm muitos átomos superficiais.

**CNT:** Tubos nanométricos de carbono

**Computador quântico:** Aproveita as regras singulares da mecânica quântica para atacar problemas, como a codificação de informação, cuja resolução é praticamente impossível com computadores convencionais. Não é ainda uma realidade.

**Corrente de túnel:** Corrente que, em absoluto, não poderia produzir-se, pois transpõe um espaço isolante, mas que é possível no nanocosmos, embora dependa em extremo das dimensões do espaço isolante. Foi este efeito que possibilitou o microscópio de túnel de varrimento.

**Diatomáceas:** Algas unicelulares, de água doce ou salgada, com um invólucro complexo de ácido silícico (dióxido de silício combinado com água). Possuem estruturas sensíveis à luz, para a fotossíntese.

**DNA:** Iniciais da expressão inglesa “deoxyribonucleic acid”, ou seja, ácido desoxirribonucleico (ADN, em português). Grande molécula em forma de hélice dupla, que contém informação para a construção de um organismo e para uma infinidade de proteínas.

**Duplicador de frequência:** Material que duplica a frequência da luz, transformando, por exemplo, a infravermelha em verde.

**ESEM:** “Environmental Scanning Electron Microscope” – microscópio electrónico especial, por varrimento, que admite ar e humidade no seu

porta-amostras. Os objectos não têm de sofrer preparação especial (por exemplo, com vapor de ouro).

**Fase:** Nesta acepção, textura da matéria, a saber: ordenada/irregular ou cristalina/amorfa

**Fibras ópticas:** Transmitem a luz através de material extremamente transparente a longas distâncias e servem sobretudo para transporte de dados, mas também de energia.

**Forissomas:** Proteínas vegetais cujo nome deriva de uma palavra latina que significa “folha de porta”. Estão a ser estudadas para a produção de músculos artificiais nanométricos.

**Fotossíntese:** Processo pelo qual as plantas verdes, as algas e as cianobactérias (algas azuis) obtêm energia: com auxílio da luz solar, transformam anidrido carbónico e água em açúcar e oxigénio. A fotossíntese processa-se com um espantoso rendimento energético primário de mais de 80%.

**Lab-on-a-Chip:** Em português, laboratório num chip: trata-se de chips altamente complexos, em fase final de desenvolvimento, que, por meio de micromecânica, microfluidos, nanossensores e nanoelectrónica, podem efectuar, em células, investigações complexas para as quais hoje são ainda necessárias as infra-estruturas de um instituto. O nome é também utilizado para lâminas de microscópio relativamente simples e impressas microscopicamente.

**Laser de electrões livres:** Gerador de luz laser por meio de um feixe acelerado de electrões que se movem num tubo de vácuo.

**Leucócitos:** Glóbulos brancos do sangue. Protegem o organismo, incorporando em si corpos estranhos transportados pela corrente sanguínea, como vírus e bactérias, mas também detritos celulares, células cancerígenas, etc. Os linfócitos são leucócitos produtores de anticorpos (moléculas de aderência muito específicas).

**Ligação Van-der-Waals:** Ligação química fraca

intermolecular, cuja causa profunda são as propriedades do vácuo. As ligações Van-der-Waals determinam também as propriedades da água e, portanto, todos os processos vitais.

**Litografia:** Nesta acepção, técnica de produção de estruturas microscópicas, normalmente por meio de um revestimento fotorresistente que é marcado com feixes de luz ou de electrões e em seguida revelado. Por fim, conforme se pretenda, o revestimento oculta ou evidencia partes do substrato, para decapagem e outros processos.

**Máscara:** Espécie de película onde são inscritas as estruturas de um chip de computador, transferidas em seguida para um disco por processo fotolitográfico.

**Micelas:** Pequenas estruturas esferóides, utilizadas pela Natureza – neste caso, pelo mexilhão – como veículos de transporte.

**Microentes:** Elementos microópticos, importantes, entre outros motivos, para a transmissão de informações pela luz.

**Piezocristais:** Os piezoelementos geram electricidade quando traccionados ou comprimidos, como as faíscas de ignição dos isqueiros “electrónicos”. Reciprocamente, por meio de uma corrente eléctrica, um cristal piezoeléctrico pode ser reduzido a fragmentos com o diâmetro de um átomo.

**Proteínas:** Grandes moléculas, compostas por ribossomas de aminoácidos, que agem nas células, em parte, como instrumentos nanométricos e, em parte, como agentes para a constituição dos tecidos, do cristalino até às unhas. A descodificação do proteoma (somatório de todas as proteínas e suas interacções nas células) está ainda no início.

**Raios ultravioletas:** Radiação de ondas curtas, que possibilita a produção de estruturas de chip muito delicadas.

**Raios X ou radiação Röntgen:** Radiação electromagnética de ondas curtas que, entre outros

fins, serve para determinar o aspecto nanoscópico de moléculas na análise de cristais.

**Reflectinas:** Proteínas especiais utilizadas por alguns organismos para criar estruturas reflectoras da luz.

**Ribossomas:** Nanomáquinas que, controladas por uma fita molecular com informações do idioplasma DNA, podem produzir uma infinidade de proteínas.

**Seda marinha:** Filamentos de uma substância altamente eficaz, por meio dos quais o mexilhão se fixa a um suporte. Numa das extremidades são elásticos como borracha, na outra tenazes como nylon.

**Semicondutor:** Material cujas propriedades

# Origem das figuras

- P. 4, cima: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidade de Hamburgo  
P. 4, baixo: Lambda Physik AG, Göttingen  
P. 5, cima: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 5, baixo: BergerhofStudios, Colónia  
P. 6, cima esquerda: Chemical Heritage Foundation  
P. 6, cima e baixo direita, baixo esquerda: BergerhofStudios, Colónia  
P. 7, cima esquerda: NASA/ESA  
P. 7, cima direita: DESY, Hamburgo  
P. 7, centro esquerda: BergerhofStudios, Colónia  
P. 7, baixo direita: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universidade de Kiel  
P. 8, cima esquerda: REM-Labor, Universidade de Basileia  
P. 8, seqüência a partir de cima: BergerhofStudios, Colónia; idem; idem; REM-Labor, Universidade de Basileia; Comitê Nobel Estocolmo (edição); DESY, Hamburgo  
P. 9, cima esquerda: Botanisches Institut, Universidade de Bonn  
P. 9, cima direita: REM-Labor, Universidade de Basileia  
P. 9, seqüência a partir de cima: BergerhofStudios, Colónia; idem; Fraunhofer Gesellschaft; Botanisches Institut Universidade de Bona; idem; TU Berlim, FU Berlim  
P. 9, Hintergrundbild: BASF AG  
P. 10, cima esquerda e direita: MPI für Metallforschung, Estugarda  
P. 10, centro direita: ESA  
P. 10, baixo esquerda: MPI für Metallforschung, Estugarda  
P. 11, cima esquerda: Ostseelabor Flensburg, a seguir: BergerhofStudios, Colónia  
P. 11, cima direita: Universidade de Florença, Itália  
P. 11, centro direita: Paläontheologisches Institut, Universidade de Bona  
P. 11, baixo esquerda: BergerhofStudios, Colónia  
P. 11, baixo direita: SusTech, Darmstadt  
P. 12, cima, centro, baixo direita: Bell Laboratories, EUA  
P. 12 esquerda: Lehrstuhl für Biochemie, Universidade de Regensburg  
P. 13, cima: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken  
P. 13, centro direita: Degussa AG Advanced Nanomaterials  
P. 13, baixo direita: Institut für Geophysik, Universidade de Munique  
P. 13, baixo esquerda: Institut für Physikalische Chemie, Universidade de Hamburgo  
P. 14, cima e baixo esquerda: AEE  
P. 14, baixo direita: IBM Corporation  
P. 15, cima e centro esquerda: Physik IV, Universidade de Augsburg  
P. 15, centro direita e Mitte: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidade de Hamburgo  
P. 15, gráfico baixo direita: BergerhofStudios, Colónia  
P. 15, baixo: Universidade do Hawaii, Honolulu  
P. 16, esquerda: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen  
P. 17, cima direita: Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen  
P. 17, baixo esquerda: IHT RWTH Aachen  
P. 17, baixo direita: Schott AG, Mainz  
P. 18, cima esquerda: Bayer AG, Leverkusen  
P. 18, baixo esquerda: MPI für Quantenoptik, Garching  
P. 19, alle Bilder: DESY, Hamburgo  
P. 20, cima esquerda: BergerhofStudios, Colónia  
P. 20, baixo direita: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken  
P. 21, cima esquerda: HILIT, EU Joule III-Programm  
P. 21, cima direita: NASA/AEE  
P. 21, baixo direita: Universidade de Estugarda  
P. 22, todas as figuras: BergerhofStudios, Colónia  
P. 23, cima esquerda: National Semiconductor, Feldafing  
P. 23, baixo direita: Advanced Micro Devices, Dresden  
P. 24, cima direita: gráfico: BergerhofStudios, Colónia  
P. 24, centro esquerda: Experimentalphysik IV RUB, Bochum  
P. 24, baixo: Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Universidade de Kiel  
P. 25, cima direita: gráfico: BergerhofStudios, Colónia  
P. 25, baixo: IHT RWTH Aachen  
P. 26, cima direita: IBM Corporation  
P. 26, baixo esquerda: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 26, baixo direita: IBM/Infineon, MRAM Development Alliance  
P. 27, cima: Experimentalphysik IV RUB Bochum  
P. 27, centro: Kompetenzzentrum Nanoanalytik, Universidade de Hamburgo  
P. 27, direita: Lehrstuhl für Nanoelektronik, RUB Bochum  
P. 27, baixo: IBM Speichersysteme Deutschland GmbH, Mainz  
P. 28, Siemens AG, Munique  
P. 29, cima direita: Nanosolutions GmbH, Hamburgo  
P. 29, centro: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken  
P. 30, baixo: Siemens AG, Munique  
P. 30, cima: DaimlerChrysler AG  
P. 30, baixo esquerda: Fraunhofer Allianz Optisch-funktionale Oberflächen  
P. 30, baixo direita: Universidade de Wisconsin-Madison  
P. 31, cima: Robert-Bosch GmbH, Estugarda  
P. 31, centro: Audi/Volkswagen AG  
P. 31, baixo esquerda: VW Pressearchiv  
P. 31, baixo direita: Robert-Bosch GmbH, Estugarda  
P. 32, cima esquerda: Bayer AG, Leverkusen  
P. 32, cima direita: Institut für Neue Materialien, Saarbrücken  
P. 32, baixo esquerda: Keramag AG, Ratingen  
P. 33, cima: BASF AG, Ludwigshafen  
P. 33, centro: MTU Friedrichshafen  
P. 33, baixo direita: Siemens AG, Munique  
P. 34, cima esquerda: Bayer AG, Leverkusen  
P. 34, cima direita: Siemens AG, Munique  
P. 34, baixo: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 35, cima esquerda: Siemens AG, Munique  
P. 35, cima direita: Siemens AG, Munique  
P. 35, centro: Charité Berlim/Institut für Neue Materialien, Saarbrücken  
P. 36, cima direita: BergerhofStudios, Colónia  
P. 36, esquerda: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 36, direita: IIP Tecnologias, Bona  
P. 37, cima esquerda: Siemens AG, Munique  
P. 37, cima direita: Fraunhofer ISIT  
P. 37, centro direita: Universidade de Oxford  
P. 37, baixo esquerda, direita: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 38, cima esquerda: OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Regensburg  
P. 38, baixo: gráfico: BergerhofStudios, Colónia  
P. 39, cima: Park Hotel Weggis, Suíça  
P. 39, baixo: Siemens AG, Munique  
P. 40, cima esquerda: BergerhofStudios, Colónia  
P. 40, baixo esquerda: Bayer AG, Leverkusen  
P. 41, cima: AIXTRON GmbH, Aachen  
P. 41, direita: Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg  
P. 42, Institut für Flugzeugbau, Universidade de Estugarda  
P. 43, cima esquerda, direita: MTU Friedrichshafen  
P. 43, centro esquerda: Institut für Luft- und Raumfahrt-Konstruktionen, Universidade de Estugarda  
P. 43, centro direita: Fuseproject  
P. 43, baixo: Kopf Solar design GmbH, Hamburgo  
P. 44, cima esquerda: Kollage: BergerhofStudios, Colónia  
P. 44, baixo direita: RWTH Aachen  
P. 45, cima esquerda: Siemens AG, Munique  
P. 45, cima direita: Infineon Tecnologias AG, Munique  
P. 45, baixo: NASA  
P. 46, centro: BergerhofStudios, Colónia  
P. 47, IBM Corporation, Insert: Siemens AG, Munique



EUROPEAN  
COMMISSION

Community research

European Industrial Research

# Uncovering the secrets of nanotechnology



Films available from: <http://www.cordis.lu/nanotechnology>

**Contact:**

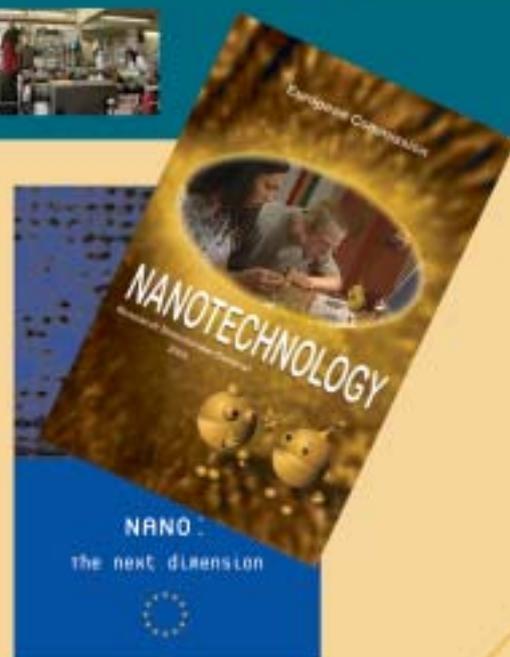
Renzo Tomellini, European Commission - email: [renzo.tomellini@cec.eu.int](mailto:renzo.tomellini@cec.eu.int)

**Industrial technologies websites:**

[http://europa.eu.int/comm/research/industrial\\_technologies/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/research/industrial_technologies/index_en.html)

<http://www.cordis.lu/fp6/nmp.htm>

<http://www.cordis.lu/nanotechnology>



NANOTECHNOLOGIES, KNOWLEDGE-BASED MATERIALS, NEW PRODUCTION



Comissão Europeia

**EUR 21151 — Nanotecnologias – Inovações para o mundo de amanhã**

Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias

2004 — 56 pp. — 21,0 x 29,7 cm

ISBN 92-894-8890-5

A nanotecnologia é considerada a tecnologia basilar do século 21. Oferece soluções para muitos problemas actuais, por meio de materiais, componentes e sistemas menores, mais leves, mais rápidos e mais eficazes. A nanotecnologia faculta novas oportunidades de mercado e pode igualmente dar alguns contributos essenciais para a protecção do ambiente e da saúde.

A presente brochura visa mostrar ao público o que é a nanotecnologia e, desse modo, estimular o debate. Ao descrever o fundamento científico, os progressos tecnológicos, os domínios de aplicação e os potenciais avanços do futuro, apresenta uma imagem complexa e exaustiva da nanotecnologia tal como hoje a encaramos.