

## **Módulo VI – Nanotecnologia**

### **Visão Geral**

**IMPORTANTE: VERIFIQUE COM O SEU TUTOR LOCAL SOBRE A EXECUÇÃO DESTE TÓPICO.**

### **Nanotecnologia:**

Cada vez mais se fala da área de nanotecnologia como uma das grandes molas propulsoras do futuro da área de computação. Para situar nosso aluno dentro deste contexto atual, iremos trabalhar com um texto introdutório sobre a área de nanotecnologia.

### **Texto 1:**

#### **O que é nanotecnologia?**

*Cylon Gonçalves da Silva*

Há mais de 2.500 anos, alguns filósofos gregos se perguntavam se a imensa variedade do mundo que nos cerca não pode ser reduzida a componentes mais simples. A própria palavra átomo vem daquele tempo e significa "indivisível". A última fração da matéria, segundo esses filósofos o "tijolo" fundamental de tudo o que existe, não poderia mais ser dividida em outras partes mais simples. Podemos fazer uma comparação elementar, apenas para fins didáticos. Em uma padaria, você encontra uma grande variedade de pães, bolos, biscoitos, tortas, todos produzidos a partir de um pequeno número de ingredientes: farinha, fermento, manteiga, óleo, açúcar, chocolate etc... Muitas vezes, os ingredientes de pães diferentes são os mesmos, apenas mudam suas quantidades relativas e a forma de preparação. Da mesma maneira, quando olhamos o mundo a nossa volta, vemos uma variedade incrível de seres vivos e objetos inanimados, de um grão de areia a galáxia, de um vírus a uma baleia. Quantos tipos de "ingredientes" diferentes são necessários para produzir esse mundo?

Entre os gregos e a nossa época, muito se aprendeu sobre o universo. Sabemos, hoje, que o mundo que nos é familiar é formado por átomos, não exatamente aqueles imaginados inicialmente, mas que com eles compartilham o papel de "tijolos" fundamentais. Aprendemos que, ao contrário do que diz seu nome, eles são, de fato, divisíveis (mas isto é uma história para outra ocasião). Os átomos são formados por um núcleo positivo, onde reside praticamente toda sua massa, e por elétrons, negativos, que circulam em torno do núcleo. Sabemos, também, que ocorrem naturalmente no universo apenas noventa e dois tipos de átomos diferentes. Estes tipos podem ser classificados pelo número de prótons (partículas sub-atômicas de carga elétrica positiva) contidos em seus núcleos. Sabemos ainda que esses átomos podem não ser o fim da história, pois pode haver no universo partículas ou alguma

forma de energia ainda não descobertas - ou pode ser que nossas teorias sobre o universo precisem algum dia ser revisadas, se esses novos "ingredientes" não forem encontrados. Tudo isto é parte do mundo fascinante da pesquisa científica - cada pergunta respondida leva a novas perguntas. Em ciência, as respostas raramente são definitivas, mas as perguntas perduram.

A certeza científica de que tudo é feito de átomos é muito recente. Há apenas cerca de cem anos, os cientistas obtiveram evidências fortes de que a velha hipótese atômica, formulada há dois e meio milênios, corresponde à realidade da natureza. No decorrer do século XIX, os químicos foram, aos poucos se convencendo de que a melhor maneira de explicar quantitativamente reações químicas é supondo que essas se dão entre unidades bem definidas de cada composto. Alguns físicos, já quase no final do século XIX, formularam uma teoria "estatística" da matéria, na qual se busca explicar o comportamento dos corpos com os quais lidamos quotidianamente pelo comportamento dessas pequenas unidades "invisíveis" da matéria, os átomos e as moléculas (moléculas são átomos do mesmo tipo ou de tipos diferentes, fortemente ligados entre si, formando novas entidades, com propriedades físico-químicas distintas). Essas teorias foram recebidas, inicialmente, com grande ceticismo pela própria comunidade científica. Por que tanta dificuldade para aceitar uma idéia velha de milênios?

O problema é que átomos são muito pequenos, medem menos de um centésimo de bilionésimo de metro, e obedecem a leis físicas bastante diferentes daquelas com as quais estamos acostumados no nosso mundo familiar. O seu tamanho é tal que não podem ser vistos diretamente. Instrumentos especiais tiveram de ser desenvolvidos antes que fosse possível "ver" um átomo. Um dos mais práticos desses instrumentos, o microscópio de tunelamento, somente foi inventado na década de 1980. Seus inventores, Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, dos laboratórios da IBM em Zúrich, Suíça, ganharam o prêmio Nobel por seus trabalhos. O funcionamento desse microscópio depende das leis da mecânica quântica, que governam o comportamento dos átomos e moléculas. Portanto, a existência de átomos e as leis da natureza no mundo atômico tiveram de ser pacientemente descobertas a partir de experimentos especialmente concebidos. Este processo levou décadas e envolveu grandes cientistas.

Instrumentos como o microscópio de tunelamento e outros estendem nossa "visão" até tamanhos na faixa de bilionésimo de metro. Um bilionésimo de metro chama-se "nanômetro", da mesma forma que um milésimo de metro chama-se "milímetro". "Nano" é um prefixo que vem do grego antigo (ainda os gregos!) e significa "anão". Um bilionésimo de metro é muito pequeno. Imagine uma praia começando em Salvador, na Bahia, e indo até Natal, no Rio Grande do Norte. Pegue um grão de areia nesta praia. Pois bem, as dimensões desse grão de areia estão para o comprimento desta praia, como o nanômetro está para o metro. É algo muito difícil de imaginar. Mesmo cientistas que trabalham com átomos todos os dias, precisam de toda sua imaginação e muita prática para se familiarizar com quantidades tão pequenas.

Ainda antes dos cientistas desenvolverem instrumentos para ver e manipular átomos individuais, alguns pioneiros mais ousados se colocavam a pergunta: o que aconteceria se pudéssemos construir novos materiais, átomo a átomo, manipulando diretamente os tijolos básicos da matéria? Um desses pioneiros foi um dos maiores físicos do século XX: Richard Feynman. Feynman, desde jovem, era reconhecido como um tipo genial. Uma de suas invenções foi o primeiro uso de processadores paralelos do mundo. Em Los Alamos, na época do desenvolvimento da primeira bomba nuclear, havia a necessidade de se realizarem rapidamente cálculos muito complexos. Feynman, então, teve a idéia de dividir os cálculos em operações mais simples, que podiam ser

realizadas simultaneamente, e encheu uma sala com jovens secretárias, cada qual operando uma máquina de calcular (naquela época não havia computadores, nem calculadoras eletrônicas, e as contas tinham de ser feitas à mão, ou com calculadoras mecânicas limitadas às mais simples operações aritméticas).

Hoje em dia, essa mesma idéia é usada em computadores de alto desempenho, com microprocessadores substituindo as jovens secretárias! Em 1959, em uma palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia, Feynman sugeriu que, em um futuro não muito distante, os engenheiros poderiam pegar átomos e colocá-los onde bem entendessem, desde que, é claro, não fossem violadas as leis da natureza. Com isso, materiais com propriedades inteiramente novas, poderiam ser criados. Esta palestra, intitulada "Há muito espaço lá embaixo" é, hoje, tomada como o ponto inicial da nanotecnologia. A idéia de Feynman é que não precisamos aceitar os materiais com que a natureza nos provê como os únicos possíveis no universo. Da mesma maneira que a humanidade aprendeu a manipular o barro para dele fazer tijolos e com esses construir casas, seria possível, segundo ele, manipular diretamente os átomos e a partir deles construir novos materiais que não ocorrem naturalmente. Um sonho? Talvez, há quarenta anos atrás. Mas, como o próprio Feynman dizia em sua conferência, nada, nesse sonho, viola as leis da natureza e, portanto, é apenas uma questão de conhecimento e tecnologia para torná-lo realidade. Hoje, qualquer toca-disco de CD's é uma prova da verdade do que Feynman dizia. Os materiais empregados na construção dos lasers desses toca-discos não ocorrem naturalmente, mas são fabricados pelo homem, camada atômica sobre camada atômica.

O objetivo da nanotecnologia, seguindo a proposta de Feynman, é o de criar novos materiais e desenvolver novos produtos e processos baseados na crescente capacidade da tecnologia moderna de ver e manipular átomos e moléculas. Os países desenvolvidos investem muito dinheiro na nanotecnologia. Mais de dois bilhões de dólares por ano, se somarmos os investimentos dos Estados Unidos, Japão e União Européia. Países como Coréia do Sul e Taiwan, que têm sido muito melhor sucedidos que o Brasil na utilização de tecnologias modernas para gerar bons empregos e riquezas para seus cidadãos, também estão investindo centenas de milhões de dólares nessa área. nanotecnologia não é uma tecnologia específica, mas todo um conjunto de técnicas, baseadas na Física, na Química, na Biologia, na ciência e Engenharia de Materiais, e na Computação, que visam estender a capacidade humana de manipular a matéria até os limites do átomo. As aplicações possíveis incluem: aumentar espetacularmente a capacidade de armazenamento e processamento de dados dos computadores; criar novos mecanismos para entrega de medicamentos, mais seguros e menos prejudiciais ao paciente dos que os disponíveis hoje; criar materiais mais leves e mais resistentes do que metais e plásticos, para prédios, automóveis, aviões; e muito mais inovações em desenvolvimento ou que ainda não foram sequer imaginadas. Economia de energia, proteção ao meio ambiente, menor uso de matérias primas escassas, são possibilidades muito concretas dos desenvolvimentos em nanotecnologia que estão ocorrendo hoje e podem ser antevistos.

No Brasil, a nanotecnologia ainda está começando. Mas, já há resultados importantes. Por exemplo, um grupo de pesquisadores da Embrapa, liderados pelo Dr. L. H. Mattoso, desenvolveu uma "língua eletrônica", um dispositivo que combina sensores químicos de espessura nanométrica, com um sofisticado programa de computador para detectar sabores. A língua eletrônica da Embrapa, que ganhou prêmios e está patenteada, é mais sensível do que a própria língua humana. Ela é um produto nanotecnológico, pois depende para seu funcionamento da capacidade dos cientistas de sintetizar (criar) novos materiais e de organizá-los, camada molecular por camada molecular, em um sensor que reage eletricamente a diferentes produtos químicos.

Você pode imaginar alguns usos para uma língua eletrônica? Para saber mais, visite a página [www.cnpdia.embrapa.br](http://www.cnpdia.embrapa.br). Não é só na Embrapa, entretanto, que se faz nanotecnologia no Brasil. O mesmo acontece nas principais universidades e centros de pesquisa do país.

Aplicações em catálise - isto é, na química e na petroquímica, em entrega de medicamentos, em sensores, em materiais magnéticos, em computação quântica, são alguns exemplos da nanotecnologia sendo desenvolvida no Brasil. O que precisamos agora é aprender a transformar todo este conhecimento em riquezas para o país.

A nanotecnologia é extremamente importante para o Brasil, por que a indústria brasileira terá de competir internacionalmente com novos produtos para que a economia do país se recupere e retome o crescimento econômico. Esta competição somente será bem sucedida com produtos e processos inovadores, que se comparem aos melhores que a indústria internacional oferece. Isto significa que o conteúdo tecnológico dos produtos ofertados pela indústria brasileira terá de crescer substancialmente nos próximos anos e que a força de trabalho do país terá de receber um nível de educação em ciência e Tecnologia muito mais elevado do que o de hoje. Este é um grande desafio para todos nós.

*Cylon Gonçalves da Silva é físico, ex-diretor do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron e idealizador do Centro Nacional de Referência em Nanotecnologia*



Atualizado em 10/11/2002 <http://www.comciencia.br>  
[contato@comciencia.br](mailto:contato@comciencia.br)

© 2002  
SBPC/Labjor  
Brasil

## Texto 2:

### O QUE É NANOTECNOLOGIA?

- A **nanotecnologia** está associada a diversas áreas (como a medicina, eletrônica, ciência da computação, física, química, biologia e engenharia dos materiais), de pesquisa e produção na escala nano (escala atômica). O princípio básico da **nanotecnologia** é a construção de estruturas e novos materiais a partir dos átomos (os tijolos básicos da natureza). É uma área promissora, mas que dá apenas seus primeiros passos, mostrando, contudo, resultados surpreendentes (na produção de semicondutores, Nanocompositores, Biomateriais, Chips entre outros). Um dos instrumentos utilizados para exploração de materiais nessa escala é o microscópio eletrônico de varredura o MEV. O objetivo principal é chegar em um controle preciso e individual dos átomos.

## HISTÓRICO

- No dia 29 de Dezembro de 1959 o físico **Richard Feynman** deu uma conferência no encontro anual da Sociedade Americana de Física sobre o controle e manipulação da matéria à escala atômica. Feynman defendeu que não existia nenhum obstáculo teórico à construção de pequenos dispositivos compostos por elementos muito pequenos, no limite compostos átomo a átomo, nem mesmo o princípio de incerteza.

## O NANÔMETRO (NM)

- A palavra "**Nanotecnologia**" foi utilizada pela primeira vez pelo **professor Norio Taniguchi** em 1974 para descrever as tecnologias que permitam a construção de materiais a uma escala de 1 nanômetro. Para se perceber o que isto significa, imagine uma praia com 1 km de extensão e um grão de areia de 1mm, este grão está para esta praia como um nanômetro está para o metro. Em alguns casos, elementos da escala periódica da química mudam seu estado, ficando até explosivos em escala nanômetra.

## POSSÍVEIS PROBLEMAS

- Um dos possíveis problemas é a nanopoluição que é gerada por nanomateriais ou durante a confecção destes. Este tipo de poluição, formada por nanopartículas pode ser muito perigosa uma vez que pode flutuar facilmente pelo ar viajando por grandes distâncias. Devido ao seu pequeno tamanho, os nanopoluentes podem entrar dentro das células de animais e plantas. Como a maioria destes nanopoluentes não existe na natureza, as células provavelmente não terão os meios apropriados de lidar com eles, causando danos ainda não conhecidos. Estes nanopoluentes poderiam se acumular na cadeia alimentar como os metais pesados e o DDT.

## NANOMEDICINA

- **Nanomedicina** é a denominação dada à junção da medicina e da nanotecnologia. Em suma a nanomedicina consiste em usar nanopartículas, nanorobôs e outros elemento em escala nanométrica para curar, diagnosticar ou prevenir doenças.

A nanomedicina é um dos ramos mais promissores da medicina contemporânea, retendo boa parte dos esforços científicos na busca de novos tratamentos para doenças como o câncer e a AIDS, entretanto a nanomedicina ainda depende de muitos avanços científicos e tecnológicos, já que a tecnologia necessária para a aplicação da nanomedicina ainda é muito imatura.

As pesquisas em nanomedicina são diretamente beneficiadas pelos avanços em biologia molecular e em nanorobótica. Atualmente decorrem muitos estudos sobre os efeitos de nanopartículas e nanorobôs dentro do corpo humano.

As possibilidades de aplicação da **nanotecnologia** na medicina são imensas. Em teoria, nanorobôs poderiam ser introduzidos no corpo, seja por via oral ou intra-venosa, e então identificariam e destruiriam células cancerosas ou infectadas por vírus, poderiam regenerar tecidos destruídos e fazer rapidamente uma infinidade de

coisas que os medicamentos convencionais (baseados unicamente em química) não conseguem ou demoram para conseguir.

Segundo estimativas, em Abril de 2006 já estavam sendo desenvolvidas pelo menos 130 drogas que utilizam a **nanotecnologia** no mundo.

## Nanotecnologia e Computação

### Texto 3:

#### Computação Quântica

*Ivan S. Oliveira*

O tamanho dos componentes eletrônicos que representam bits em chips de computadores vem sendo reduzido de maneira vertiginosa desde os anos 50, e espera-se que até 2020 esse tamanho alcance dimensões atômicas. Ou seja, se alcançará o limite onde 1 bit de informação será representado por apenas 1 átomo. Durante as décadas de 80 e 90 os físicos descobriram novas e fascinantes propriedades computacionais que só podem existir nesse limite, graças às Leis da Mecânica Quântica, a teoria física que governa o comportamento de átomos e moléculas.

#### **1. Mundo Clássico vs. Mundo Moderno**

Até o início do século XX os físicos explicavam os fenômenos naturais utilizando como arcabouço duas teorias de alcance extraordinário: a Mecânica de Newton e o Eletromagnetismo de Maxwell. A primeira estuda o movimento dos corpos, como a órbita de um cometa ou a trajetória de um pêndulo, enquanto que a segunda trata de fenômenos eletromagnéticos, tais como a luz ou ondas de rádio. A Mecânica e o Eletromagnetismo formam os principais pilares do que é conhecido como Física Clássica. Havia naquela época uma crença de que essas duas teorias seriam capazes de explicar todos os fenômenos observados na natureza, restando apenas aos físicos aplicá-las corretamente cada vez que um novo fenômeno fosse descoberto. Era o império da Física Clássica.

No entanto, duas grandes reviravoltas nessa maneira de pensar acabaram por demolir a soberania da Física Clássica: a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica. A Relatividade, formulada por Albert Einstein, é a parte da Física que trata de

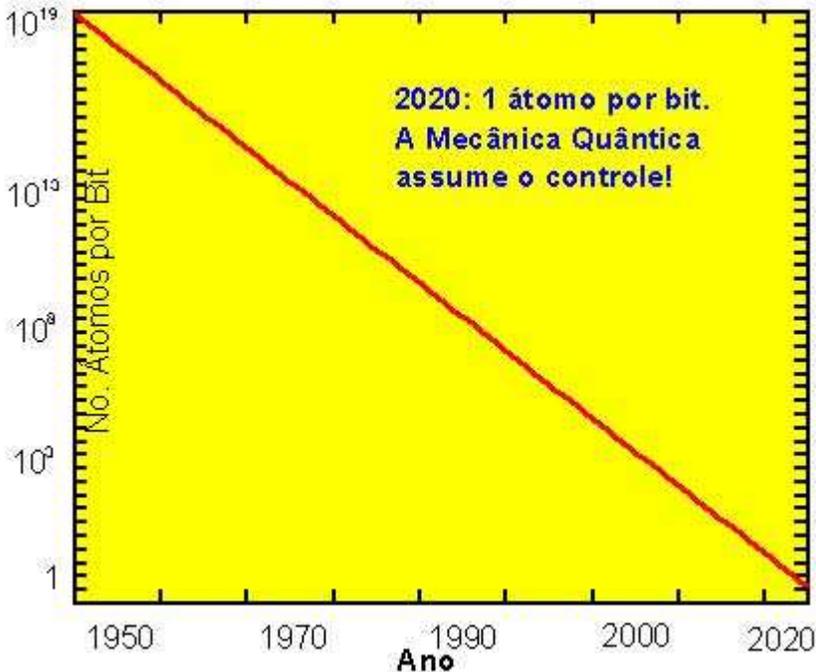
fenômenos envolvendo objetos que se movem com velocidades muito altas, próximas à velocidade da luz (300 000 km/s), ou aqueles fenômenos envolvendo objetos com massas astronômicas, como aglomerados, galáxias, etc. A Mecânica Quântica, por sua vez, descreve o comportamento de objetos com dimensões atômicas (0,0000000001 m) e menores. A Mecânica Quântica se desenvolveu e se tornou a mais bem sucedida teoria física, no que diz respeito às previsões que faz para o comportamento da matéria. Como alguns exemplos de grandes sucessos de aplicações da Mecânica Quântica, podemos citar a descrição do comportamento para os semicondutores, que são a base da tecnologia dos chips dos computadores atuais, e também para os supercondutores, materiais que conduzem corrente elétrica sem dissipação de energia, e ainda a compreensão da estrutura do núcleo atômico que possibilitou o uso da energia nuclear em diversas aplicações.

## 2. Computação Clássica

Paralelamente ao desenvolvimento da Mecânica Quântica, uma outra revolução tomou corpo na década de 30, através principalmente do trabalho do matemático e lógico inglês Alan Turing. Atendendo a um desafio de um outro grande matemático da época, David Hilbert, Turing criou um modelo computacional abstrato que se tornou um paradigma de computação conhecido como Máquina de Turing. Em última análise, uma máquina de Turing é um aparato idealizado que opera com seqüências lógicas de unidades de informação chamadas de *bits* (do inglês *binary digit*). Um bit pode adquirir apenas um dentre dois valores: "0" ou "1". Qualquer informação é codificada e processada como uma seqüência de 'zeros' e 'uns' em uma máquina de Turing. Um computador, tal qual os que temos hoje sobre as nossas mesas, é uma realização física de uma máquina de Turing. Toda informação fornecida a eles é lida, processada e retornada sob a forma de seqüências de bits.

Por serem idealizações matemáticas, máquinas de Turing independem de quais objetos físicos irão representar bits, bastando apenas que eles existam. Nos computadores atuais, esses objetos são componentes eletrônicos que existem aos bilhões dentro dos chips. A necessidade do aumento de memória e da velocidade de processamento fizeram com que os chips cada vez mais acomodassem um número maior desses componentes. Em 1970, Gordon Moore, um dos fundadores da empresa fabricante de microprocessadores Intel, percebeu que havia um crescimento muito rápido no número de componentes por unidade de volume nos chips ao longo dos anos e, conseqüentemente, uma redução no "tamanho físico" dos bits. Traduzindo em números de átomos necessários para representar um bit de informação, podemos ter uma idéia dessa redução: em 1950 eram necessários cerca de  $10^{19}$  (10 elevado a 19) átomos para representar um bit. Atualmente são

"apenas" cerca de  $10^9$  (10 elevado a 9), uma redução de 10 ordens de magnitude! Se aplicarmos a Lei de Moore e fizermos uma projeção sobre os próximos vinte anos, o resultado é algo espantoso: em 2020, um bit de informação será representado por apenas 1 único átomo!



Aparentemente, isto poderia significar o limite físico natural dos computadores. Com 1 átomo representando 1 bit, não haveria mais como aumentar a densidade de bits por chip e consequentemente não seria mais possível aumentar a capacidade dos computadores. No entanto, não é assim. De fato, algo muito mais dramático do que uma mera limitação física de memória deverá acontecer até 2020 e a razão é bem simples: na escala atômica, o paradigma clássico da Máquina de Turing deixa de ser válido, pois quem governa os fenômenos físicos nessa escala é a Mecânica Quântica, e os processos computacionais deverão obedecer às leis dessa teoria física, e não às regras de uma idealização matemática.

### 3. Computação Quântica

Na escola aprendemos a calcular a posição, velocidade, energia, etc. de objetos que se movem, aplicando as leis da Mecânica de Newton. No mundo dos átomos e moléculas estas leis não funcionam. Para descrever corretamente o comportamento desses objetos, é preciso utilizar as leis da Mecânica Quântica. Essa diferença tem consequências dramáticas para a computação, e a razão é a seguinte: os circuitos eletrônicos que representam os bits de informação nos computadores atuais são objetos clássicos, e portanto seguem as leis da física clássica. Como consequência, cada bit em um computador

clássico só pode adquirir um dos valores, "0" ou "1", que são, por sua vez, mutuamente excludentes. Acontece que no mundo dos átomos, a Mecânica Quântica nos ensina que os bits (que no caso quântico são chamados de *quantum-bits*, ou *qubits*) podem simultaneamente adquirir os valores "0" e "1"! Esta propriedade é chamada de *superposição de estados quânticos*, e para entender o seu alcance, considere a seguinte analogia: suponha que você tenha uma moeda e esteja brincando de "cara ou coroa". Você joga a moeda para o alto e sabe que ao cair no chão, o resultado será ou "cara" ou "coroa", com probabilidade igual a 50% para cada lado. Se a moeda fosse um objeto quântico, o resultado poderia ser "cara", "coroa", ou qualquer superposição dos dois, como se a moeda pudesse cair com as duas faces para cima ao mesmo tempo! Se você atribuir o estado lógico "0" para "cara" e "1" para "coroa", você poderia, com uma moeda quântica, superpor os estados lógicos que classicamente são excludentes.

Essa estranha propriedade da superposição já foi demonstrada muitas vezes em laboratórios de física em todas as partes do mundo, e é uma verdade incontestável. Para a computação, ela representa um ganho inimaginável de velocidade de processamento, pois *todas* as seqüências de bits possíveis em um computador poderiam ser manipuladas simultaneamente. A demonstração mais espetacular deste ganho de velocidade foi feita em 1993 por um cientista americano chamado Peter Shor. Ele inventou um algoritmo quântico para fatorar números grandes, um problema muito difícil para computadores clássicos. A tabela abaixo mostra comparações entre os tempos de fatoração necessários para algoritmos clássicos e o algoritmo de Shor, em função do tamanho do número a ser fatorado.

Comprimento do número a ser fatorado (em bits)	Tempo de fatoração por algoritmo clássico	Tempo de fatoração com o algoritmo de Shor
512	4 dias	34 segundos
1024	100 mil anos	4,5 minutos
2048	100 mil bilhões de anos	36 minutos
4096	100 bilhões de quatrilhões de anos	4,8 horas

A dificuldade na fatoração de números grandes é a base da segurança de mensagens criptografadas que viajam todos os dias pela Internet levando informações secretas (como números de cartões de créditos). O algoritmo de Shor mostra que no dia em que um computador quântico for ligado, nenhuma mensagem criptografada classicamente será secreta.

Os próximos 20 anos serão muito interessantes para a computação.

*Ivan S. Oliveira é pesquisador do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.*

**Texto 4:**

<http://www.comciencia.br>  
[contato@comciencia.br](mailto:contato@comciencia.br)

## Nanotecnologia

### Novos "tijolos" para fabricar novos materiais

© 2002 SBPC/Labjor

### Setembro/2006

**Em 1959, em uma palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia, Richard Feynman, reconhecido como um físico genial, sugeriu que, em um futuro não muito distante, os engenheiros poderiam pegar átomos e colocá-los onde bem entendessem, desde que, é claro, não violassem as leis da natureza. Com isso, materiais com propriedades inteiramente novas poderiam ser criados. Esta palestra, intitulada "Há muito espaço lá embaixo" é, hoje, tomada como o ponto inicial da nanotecnologia.**

A idéia de Feynman é que não precisamos aceitar os materiais com que a natureza nos provê como os únicos possíveis no universo. Da mesma maneira que a humanidade aprendeu a manipular o barro para dele fazer tijolos e com esses construir casas, seria possível, segundo ele, manipular diretamente os átomos e, a partir deles, construir novos materiais que não ocorrem naturalmente. Um sonho? Talvez, quarenta anos atrás. Mas, como o próprio Feynman dizia em sua conferência, nada, nesse sonho, viola as leis da natureza e, portanto, é apenas uma questão de conhecimento e tecnologia para torná-lo realidade. Hoje, qualquer toca-discos de CDs é uma prova de que o sonho tornou-se realidade e de que Feynman dizia a verdade - os materiais empregados na construção dos Lasers desses toca-discos não ocorrem naturalmente, mas são fabricados pelo homem, camada atômica sobre camada atômica.

#### **Possibilidades e perspectivas**

O objetivo da nanotecnologia, seguindo a proposta de Feynman, é criar novos materiais e desenvolver novos produtos e processos baseados na crescente capacidade da tecnologia moderna de ver e manipular átomos e moléculas. Os países desenvolvidos investem muito dinheiro na nanotecnologia. Mais de quatro bilhões de dólares por ano, se somarmos os investimentos dos Estados Unidos, Japão e União Européia. Países como Coréia do Sul e Taiwan, que têm sido muito melhor sucedidos que o Brasil na utilização de tecnologias modernas para gerar bons empregos e riquezas para seus cidadãos, também estão

investindo centenas de milhões de dólares nessa área.

Nanotecnologia não é uma tecnologia específica, mas todo um conjunto de técnicas, baseadas na Física, na Química, na Biologia, na ciência e Engenharia de Materiais, e na Computação, que visam estender a capacidade humana de manipular a matéria até os limites do átomo. As aplicações possíveis incluem: aumentar espetacularmente a capacidade de armazenamento e processamento de dados dos computadores; criar novos mecanismos para direcionamento de medicamentos, mais seguros e menos prejudiciais ao paciente do que os disponíveis hoje; criar materiais mais leves e mais resistentes do que metais e plásticos, para prédios, automóveis, aviões; e muito mais inovações em desenvolvimento ou que ainda não foram sequer imaginadas. Economia de energia, proteção ao meio ambiente, menor uso de matérias-primas escassas são possibilidades muito concretas dos desenvolvimentos em nanotecnologia que estão ocorrendo hoje e podem ser antevistos.

No Brasil, a nanotecnologia ainda está começando. Mas já há resultados importantes. Por exemplo, um grupo de pesquisadores da Embrapa, liderados pelo Dr. L. H. Mattoso, desenvolveu uma "língua eletrônica", um dispositivo que combina sensores químicos de espessura nanométrica com um sofisticado programa de computador para detectar sabores. A língua eletrônica da Embrapa, que ganhou prêmios e está patenteada, é mais sensível do que a própria língua humana. Ela é um produto nanotecnológico, pois depende para seu funcionamento da capacidade dos cientistas de sintetizar novos materiais e de organizá-los, camada molecular por camada molecular, em um sensor que reage eletricamente a diferentes produtos químicos. Você pode imaginar alguns usos para uma língua eletrônica. Para saber mais, visite a página [www.cnpdia.embrapa.br](http://www.cnpdia.embrapa.br). Não é só na Embrapa, entretanto, que se faz nanotecnologia no Brasil. O mesmo acontece nas principais universidades e centros de pesquisa do País.

As aplicações em catálise - isto é, na química e na petroquímica, em direcionamento de medicamentos, em sensores, em materiais magnéticos, em computação quântica, são alguns exemplos da nanotecnologia sendo desenvolvida no Brasil. O que precisamos agora é aprender a transformar todo este conhecimento em riquezas para o País.

O governo brasileiro tem feito investimentos importantes em Nanotecnologia. O Ministério da Ciência e Tecnologia criou o Programa Nacional de Nanotecnologia e, por meio de suas agências de financiamento, o CNPq e a FINEP, vem financiando grupos de pesquisa e empresas no desenvolvimento de pesquisas e inovação. Nos últimos três anos, o MCT já investiu mais de R\$ 60 milhões em inúmeros projetos na área. Um projeto importante do ponto de vista industrial é o de prototipagem de um display baseado em polímeros emissores de luz, desenvolvido pelo Genius Instituto de Tecnologia com apoio da Gradiente e do Instituto do Milênio de Materiais Poliméricos, uma rede de pesquisa apoiada pelo CNPq e liderada pela USP de São Carlos. A Gradiente traz para o projeto o interesse da indústria de eletrônica de consumo.

Algumas pequenas empresas de base tecnológica já estão sendo formadas, como a Nanocore ([www.nanocore.com.br](http://www.nanocore.com.br)), na área de biotecnologia, para explorar resultados da pesquisa brasileira.

A notícia de que investidores privados estão investindo em algumas destas pequenas empresas é uma ótima notícia para a Nanotecnologia brasileira. Um exemplo é o investimento do Fundo Novarum, de capital semente, na Nanox Nanotecnologia S. A., uma empresa originária da UFSCar, que desenvolve produtos para tratamentos especiais para superfícies, como um revestimento bactericida para vidros.

A nanotecnologia é extremamente importante para o Brasil, porque a indústria brasileira terá de competir internacionalmente com novos produtos para que a economia do País se recupere e retome o crescimento econômico. Esta competição somente será bem-sucedida com produtos e processos inovadores, que se comparem aos melhores que a indústria internacional oferece. Isto significa que o conteúdo tecnológico dos produtos ofertados pela indústria brasileira terá de crescer substancialmente nos próximos anos e que a força de trabalho do País terá de receber um nível de educação em ciência e Tecnologia muito mais elevado do que o de hoje. Este é um grande desafio para todos nós.

### **A viagem de uma idéia no tempo**

Há mais de 2.500 anos, alguns filósofos gregos se perguntavam se a imensa variedade do mundo que nos cerca não pode ser reduzida a componentes mais simples. A própria palavra átomo vem daquele tempo e significa "indivisível". A última fração da matéria, segundo esses filósofos o "tijolo" fundamental de tudo o que existe, não poderia mais ser dividida em outras partes mais simples.

Entre os gregos e a nossa época, muito se aprendeu sobre o universo. Sabemos, hoje, que o mundo que nos é familiar é formado por átomos, não exatamente aqueles imaginados inicialmente, mas que com eles compartilham o papel de "tijolos" fundamentais. Aprendemos que, ao contrário do que diz seu nome, eles são, de fato, divisíveis. Os átomos são formados por um núcleo positivo, onde reside praticamente toda a sua massa, e por elétrons, negativos, que circulam em torno do núcleo. Sabemos, também, que ocorrem naturalmente no universo apenas noventa e dois tipos de átomos diferentes, e que esses átomos podem não ser o fim da história, pois pode haver no universo partículas ou alguma forma de energia ainda não descobertas - ou pode ser que nossas teorias sobre o universo precisem algum dia ser revisadas, se esses novos "ingredientes" não forem encontrados. Tudo isto é parte do mundo fascinante da pesquisa científica — cada pergunta respondida leva a novas perguntas. Em ciência, as respostas raramente são definitivas, mas as perguntas perduram.

A certeza científica de que tudo é feito de átomos é muito recente. Há apenas cerca de cem anos, os cientistas obtiveram evidências fortes de que a velha hipótese atômica, formulada há dois e meio milênios, corresponde à realidade da natureza. No decorrer do século XIX, os químicos foram, aos poucos, se convencendo de que a melhor maneira de explicar quantitativamente reações químicas é supondo que essas se dão entre unidades bem definidas de cada composto.

Alguns físicos, já quase no final do século XIX, formularam uma teoria "estatística" da matéria, na qual se busca explicar o comportamento dos corpos com os quais lidamos

quotidianamente pelo comportamento dessas pequenas unidades "invisíveis" da matéria, os átomos e as moléculas.

Essas teorias foram recebidas, inicialmente, com grande ceticismo pela própria comunidade científica.

Por que tanta dificuldade para aceitar uma idéia velha de milênios? O problema é que átomos medem menos de um centésimo de bilionésimo de metro e obedecem a leis físicas bastante diferentes daquelas com as quais estamos acostumados no nosso mundo familiar. O seu tamanho é tal que não podem ser vistos diretamente. Instrumentos especiais tiveram de ser desenvolvidos antes que fosse possível "ver" um átomo. Um dos mais práticos desses instrumentos, o microscópio de tunelamento, somente foi inventado na década de 1980. Seus inventores, Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, dos laboratórios da IBM em Zürich, Suíça, ganharam o prêmio Nobel por seus trabalhos. O funcionamento desse microscópio depende das leis da mecânica quântica, que governam o comportamento dos átomos e moléculas. Portanto, a existência de átomos e as leis da natureza no mundo atômico tiveram de ser pacientemente descobertas a partir de experimentos especialmente concebidos. Este processo levou décadas e envolveu grandes cientistas.

Instrumentos como o microscópio de tunelamento e outros estendem nossa "visão" até tamanhos na faixa de bilionésimo de metro, o "nanômetro", prefixo que vem do grego antigo (ainda os gregos!) e significa "anão". Um bilionésimo de metro é muito pequeno. Imagine uma praia começando em Salvador, na Bahia, e indo até Natal, no Rio Grande do Norte. Em relação a esta praia, um grão de areia equivale a um nanômetro. É algo muito difícil de imaginar. Mesmo cientistas que trabalham com átomos todos os dias precisam de toda a imaginação e muita prática para se familiarizar com quantidades tão pequenas.

**Este artigo foi escrito especialmente para Noticiário de Equipamentos Industriais-NEI por Cylon Gonçalves da Silva, físico, ex-diretor do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, ex- Secretário Nacional de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento do MCT, responsável pelo Programa Nacional de Nanotecnologia em 2004/2005. Atualmente dirige o Genius Instituto de Tecnologia.**

**Observação: O exercício relacionado a este conteúdo, se resume em levar textos adicionais para discussão no encontro com o tutor local. Aproveito e peço a gentileza de me encaminharem o texto que julgarem mais relevante ao assunto de maneira a poder disponibilizar todos os alunos (mandar para o e-mail [claucamp@terra.com.br](mailto:claucamp@terra.com.br)).**