

NANOTECNOLOGIA: UMA REVOLUÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS
PRODUTOS

Ricardo Martins de Paiva Bastos

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Marcos Martins Borges, Dsc

Prof. Eduardo Breviglieri Pereira de Castro, Dsc

Prof. Paulo André Marques Lobo, Msc

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL

JULHO DE 2006

BASTOS, RICARDO MARTINS DE PAIVA

Nanotecnologia: Uma revolução no desenvolvimento de novos produtos [Juiz de Fora] 2006

VII, 28 p. 29,7 cm (Curso de Engenharia de Produção / UFJF, Engenharia de Produção, 2006)

Monografia - Universidade Federal de Juiz de Fora, Coordenação de Curso de Engenharia de Produção

1. Nanotecnologia

I. Curso de Engenharia de Produção /UFJF

II. Nanotecnologia: Uma revolução no desenvolvimento de novos produtos

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia de Produção.

NANOTECNOLOGIA: UMA REVOLUÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS

Ricardo Martins de Paiva Bastos

Julho/2006

Orientador: Marcos Martins Borges

Curso: Engenharia de Produção

Nanotecnologia, dito de forma simples, é uma ciência relacionada à manipulação da matéria ao nível molecular, visando a criação de novos materiais, substâncias e produtos, com uma precisão de átomo a átomo. A Nanotecnologia está emergindo como a próxima revolução tecnológica, com eventuais efeitos sobre todos os aspectos da vida. De ambientalistas a estrategistas militares, há o consenso de que o crescimento da capacidade da construção molecular - manufatura molecular, fabricação molecular - mudará profundamente o mundo atual em que vivemos. É com base nessa constatação que este estudo foi realizado. São abordados não só alguns aspectos científicos, mas também algumas questões financeiras, éticas e legais. Este estudo ainda apresenta um novo produto que já se utiliza da Nanotecnologia. Conclui-se o trabalho com uma análise do tema, suas vantagens e desvantagens e uma indicação de diretrizes visando posicionar o engenheiro de produção em meio a essa revolução.

Abstract of monograph presented to Industrial Engineering Department as a partial fulfillment of the requirements for the degree in Industrial Engineer

NANOTECHNOLOGY: A REVOLUTION IN THE DEVELOPMENT OF NEW PRODUCTS

Ricardo Martins de Paiva Bastos

July/2006

Advisor: Marcos Martins Borges

Department: Industrial Engineering

Nanotechnology is a science related to the manipulation of the substance at molecular level, aiming the creation of new materials, substances and products, with an atom by atom precision. Nanotechnology is emerging as the next technological revolution, with eventual effect on all the aspects of life. From ambientalists to military strategists, it has the consensus that with the growth of molecular construction capacity, the world where we live is going to have deeply changes. Basing on this thinking this study was carried through. Some scientific aspects, financial, legal and ethics questions are shown. This study also shows an example of a new product that already uses Nanotechnology and is concluded with an analysis of the subject, its advantages and disadvantages, attempting to locate the industrial engineer within this revolution.

Sumário

Capítulo I – INTRODUÇÃO	1
1. Considerações Iniciais	1
2. Objetivos	1
3. Justificativas	2
4. Escopo do Trabalho	2
5. Metodologia	2
Capítulo II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
1. Introdução	4
2. Definição	4
3. Evolução histórica	5
Capítulo III – APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA	8
1. Aplicações	8
2. Descobertas Recentes	11
3. Viabilidade	13
4. Críticas	17
Capítulo IV – EXEMPLO DE APLICAÇÃO	19
1. Nanotecnologia no agronegócio	19
2. A Língua Eletrônica	20
Capítulo V – CONCLUSÃO	25
Capítulo VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

Índice de Figuras

Figura 1 -	Micro-acelerômetro ampliado	6
Figura 2 -	Tabela periódica dos elementos	7
Figura 3 -	Projeto futurístico de um nanorobô perfurando uma célula	9
Figura 4 -	Representação de um Nanotubo dobrado	10
Figura 5 -	Nanorelógio e Nanocarro	12
Figura 6 -	Desenhos de engrenagens realizadas com átomos de carbono, de hidrogênio e nitrogênio	14
Figura 7 -	35 átomos de Xenon sobre Níckel. Realizada com um microscópio de tunelamento, a -270 °C	15
Figura 8 -	Átomos de Ferro sobre Cobre	15
Figura 9 -	Funcionamento comparado: microscópio com efeito de tunelamento (STM) e microscópio de força atômica (ATM)	16
Figura 10 -	Filamento de DNA (2,3 nm de comprimento)	17
Figura 11 -	Língua Eletrônica em funcionamento. Os sensores mergulhados em um líquido passam as informações de qualidade diretamente para um software específico	20
Figura 12 -	Destaque para as unidades sensoriais da Língua Eletrônica	21
Figura 13 -	Classificação de café	22
Figura 14 -	Língua Eletrônica em funcionamento. Destaque para as unidades sensoriais mergulhadas na água	24

Glossário

Acelerômetro: Instrumento utilizado para medir deslocamento, velocidade e a aceleração de sistemas mecânicos.

Biomems: Dispositivos MEMS utilizados com finalidades biológicas.

Cromatografia de gás: Técnica para separação e análise de misturas de substâncias voláteis.

Espectrômetro de massa: Aparelho utilizado para determinar a quantidade relativa de isótopos dos elementos químicos.

MEMS: “Sistemas Micro Eletro Mecânicos”. Funcionam com a integração de elementos mecânicos, sensores e eletrônicos numa superfície comum de silicone. São fabricados utilizando-se técnicas de micro-fabricação.

Microscópio de força atômica: Seu princípio fundamental é a medida das deflexões de um suporte (de 100 a 200 mm de comprimento) em cuja extremidade livre está montada a sonda.

Microscópio de tunelamento: Microscópio muito poderoso que usa elétrons para observar átomos.

Nanocompósito: Material formado por dois ou mais constituintes diferentes, que oferece propriedades que não são possíveis de se obter a partir dos seus componentes individuais. Pelo menos um desses componentes possui dimensões em escala nanométrica.

Nanodevices: Dispositivos em geral utilizados em escala nanométrica.

Nano-objeto: Qualquer objeto utilizado em escala nanométrica.

Nano-sistema: Qualquer tipo de sistema utilizado em escala nanométrica.

Sensores de pressão: Sensores que medem as pressões do ar; gases não-iônicos e não-corrosivos com vários alcances de medição.

Capítulo I - INTRODUÇÃO

1. Considerações Iniciais

A nanotecnologia já é um negócio de bilhões de dólares (Bushan, 2004) que atrai a cada dia mais investimento, em todo o planeta, devido ao seu enorme potencial de aplicação nos mais variados setores industriais e ao impacto que seus resultados podem dar ao desenvolvimento tecnológico e econômico. Neste contexto, existe uma infinidade de áreas onde a nanotecnologia pode dar uma contribuição significativa. O Brasil tem procurado não ficar de fora da corrida por esta tecnologia e em 2001 o Governo criou a Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia para formar uma rede de pesquisa no tema. Atualmente, a rede conta com a participação de mais de uma centena de instituições de pesquisa e ensino em todo o país, que têm expandido suas fronteiras por meio de parcerias com institutos e grupos de excelência em nanotecnologia dos Estados Unidos, Europa, China e Japão, inclusive com a colaboração de pesquisadores laureados com o prêmio Nobel.

Os investimentos para o período 2005 – 2006 para o setor de nanotecnologia no Brasil deve ser de aproximadamente 71 milhões de reais de acordo com a Agência Fapesp. Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), o principal objetivo desses investimentos é desenvolver produtos e processos no setor, a partir da estruturação e do fortalecimento de redes de pesquisa sobre o tema.

Os resultados práticos já começam a ser colhidos. Produtos que se utilizam dessa tecnologia já se tornaram realidade em alguns setores da indústria brasileira. No meio acadêmico, destaca-se um documentário em DVD realizado por alunos da Universidade Federal de São Carlos intitulado "Nanotecnologia: futuro". Segundo o professor Élson Longo, diretor do documentário, a divulgação do conhecimento em nanotecnologia é estratégica para o Brasil. Iniciativas como esta podem servir de alicerce para o crescimento da nanotecnologia no país e é com base nessa constatação que este estudo foi realizado.

2. Objetivos

O objetivo do trabalho foi de realizar um estudo teórico sobre o estado da arte da Nanotecnologia, apresentando alguns aspectos financeiros, éticos e sociais e descrevendo um exemplo de aplicação da Nanotecnologia no desenvolvimento de um novo produto pesquisado com tecnologia nacional.

3. Justificativas

O desenvolvimento desse tema é atraente devido ao grande potencial desta tecnologia. Pesquisadores do Instituto de Tecnologia de Massachusetts estimam que teremos o poder de fabricar qualquer coisa com precisão e qualidade insuperável a um custo acessível. Pode ser que seja muito difícil para uma empresa competir num futuro próximo utilizando os métodos tradicionais de produção.

Esta nova tecnologia pode afetar algumas áreas da Engenharia de Produção, uma vez que se estima que novas técnicas de produção ainda não conhecidas surgirão. Segundo Levy (2000) é possível que os resíduos de uma linha de montagem sejam reduzidos a praticamente zero, algo difícil de se imaginar nos tempos atuais. Existe também a possibilidade de fabricação de materiais mais puros.

É importante que o Engenheiro de Produção, bem como todos os demais profissionais que trabalham em áreas tecnológicas fiquem atentos às novas descobertas e avanços da ciência para acompanharem o desenvolvimento de novas tecnologias. Para uma grande empresa, acompanhar esse desenvolvimento pode significar maiores lucros no futuro.

4. Escopo do Trabalho

A Ciência e a tecnologia das nanoestruturas é uma área interdisciplinar de intensa pesquisa no mundo inteiro. Principalmente nos últimos anos, após a comunidade científica perceber que através da nanomanufatura poder-se-ia obter materiais e dispositivos com características e utilizações completamente novas, é que a pesquisa cresceu enormemente.

Desta forma, este estudo foi elaborado baseando-se em revisão bibliográfica de publicações, relatórios de pesquisas recentes realizadas por instituições e informações sobre empresas de todo o mundo. Desta revisão resultou a presente descrição sobre o tema e o exemplo prático apresentado.

Ressalta-se que o conteúdo deste trabalho não pretende produzir um estudo completo sobre o tema. Apenas apresenta-se um recorte que exemplifica a potencialidade desta nova tecnologia.

5. Metodologia

Este estudo se iniciou com um estudo bibliográfico. Foram consultados alguns artigos e livros publicados sobre o assunto e foi levantado o estado da arte sobre o conhecimento envolvido. A internet foi a principal fonte de pesquisa.

Capítulo II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. Introdução

No dia 29 de Dezembro de 1959, no Instituto de Tecnologia da Califórnia, o pesquisador Richard P. Feynman deu uma palestra no encontro anual da American Physical Society. Sua apresentação se tornou um artigo científico clássico no século XX, chamado “There’s Plenty of Room at the Bottom”. Ele apresentou uma visão tecnológica de miniaturização extrema vários anos antes da palavra “chip” fazer parte do nosso vocabulário e também falou sobre as dificuldades de se manipular e controlar objetos de pequena escala. Extrapolando as leis físicas conhecidas, Feynman visualizou uma tecnologia capaz de construir nano-objetos átomo por átomo, molécula por molécula. A partir dos anos 80, varias invenções e descobertas na fabricação de nano-objetos provaram que a visão de Feynman fazia algum sentido.

Em reconhecimento a essa nova realidade, o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia da Casa Branca criou em 1998 o “Interagency Working Group on Nanoscience, Engineering and Technology”. A partir do ano 2000 ficou mais evidente a importância dada pelo governo norte-americano à pesquisa das nanociências quando foi aprovada para o orçamento de 2001 a ambiciosa quantia de 497 milhões de dólares (Bushan, 2004) para investimentos no “National Nanotechnology Initiative” (NNI), tornando-a prioridade como uma ciência de alta tecnologia. O objetivo desta iniciativa era formar uma coalizão na qual o setor privado e o governo federal trabalhariam juntos no sentido de acelerar o desenvolvimento da nanociência e nanoengenharia para alcançar potenciais benefícios econômicos e sociais.

2. Definição

Nanotecnologia é a habilidade de manipular átomos e moléculas individualmente para produzir materiais nanoestruturados e micro-objetos com aplicações no mundo real (Miller, 2005). Ela envolve produção e aplicação em sistemas físicos, químicos e biológicos em escalas que variam de um átomo individual a moléculas de cerca de 100 nanômetros, assim como a integração das nanoestruturas resultantes em sistemas mais complexos. Um nanômetro vale 1×10^{-9} metros, ou um milionésimo de milímetro. Equivale a 1/80000 do diâmetro do cabelo humano. Tem como símbolo nm. É uma unidade de comprimento do SI, comumente usada para medição de comprimentos de onda de luz visível (400 nm a 700 nm), radiação ultravioleta, radiação infra-vermelha e radiação gama, entre outras coisas.

A Nanotecnologia compreende um conjunto de técnicas com aplicações potenciais na maioria dos setores industriais existentes na atualidade e com potencial de ajudar a criar novas indústrias.

Espera-se que a Nanotecnologia tenha um profundo impacto na economia e na nossa sociedade durante o século 21, talvez comparável à tecnologia da informação ou aos avanços na biologia celular e molecular. Pesquisas científicas e na área de engenharia podem trazer grandes descobertas nas áreas de materiais, manufatura, eletrônicos, medicina, energia, biotecnologia, tecnologia da informação e segurança nacional. O sentimento de alguns pesquisadores é que a nanotecnologia será o propulsor da próxima revolução industrial.

O campo da Nanotecnologia, além da fabricação de nanosistemas, provê o ímpeto ao desenvolvimento de ferramentas experimentais e computacionais. E ainda inclui sistemas nanoeletromecânicos como sensores, sistemas micromecatrônicos e microfluidos. Esses sistemas podem controlar e ativar individualmente cada função na nanoescala e até gerar efeitos na macroescala.

Como citado no livro “Springer Handbook of Nanotechnology” (Bushan, 2004), o mercado de micro-sistemas em 2000 foi de aproximadamente \$ 15 bilhões e com uma taxa anual de crescimento projetada em torno de 10% a 20%. É esperado que este setor movimente mais de \$ 100 bilhões até o final desta década. Já o mercado de nano-sistemas foi de aproximadamente \$ 100 milhões em 2001. Estima-se que o mercado de nano-sistemas integrados ultrapasse \$ 25 bilhões em investimentos até o final desta década.

Devido à natureza destes sistemas e por causa do significativo impacto que eles podem causar nas aplicações comerciais e na área de defesa, a indústria de ponta, investidores capitalistas e o próprio governo federal norte-americano têm um interesse especial nutrindo o crescimento deste campo.

3. Evolução histórica

Desde que a humanidade existe, fabricamos e utilizamos utensílios manufaturados. De certa forma, pode-se dizer que as técnicas de fabricação pouco mudaram desde os tempos pré-históricos. De fato, a fabricação de um objeto requer freqüentemente a extração de matérias-primas em grande quantidade, todo um procedimento de trabalho sobre esses materiais (aquecimento, aplicação de pressão, processos químicos), de montagem (por soldagem, por fixação, por colagem) antes da obtenção do objeto desejado, que pode ser, por exemplo, um carro, um computador ou mesmo uma folha de papel.

No decorrer de todo esse processo de fabricação, uma grande quantidade de energia é utilizada e, geralmente, é produzido muito lixo, apesar dos progressos que temos

tido com a reciclagem.

Entretanto, a tendência é controlar mais e mais a matéria manufaturada, o produto final (hoje em dia são gravados sulcos de larguras inferiores ao micrômetro nos chips de computador 100 vezes mais finos que uma folha de papel). Os sensores de choque mecânico dos air-bags usados nos automóveis são gravados diretamente nos chips (Figura 1). Trata-se, neste caso, da nanotecnologia, tal como já foi definida anteriormente. As técnicas mais recentes permitem gravar linhas de 80 nanômetros (1000 vezes mais finas que uma folha de papel).

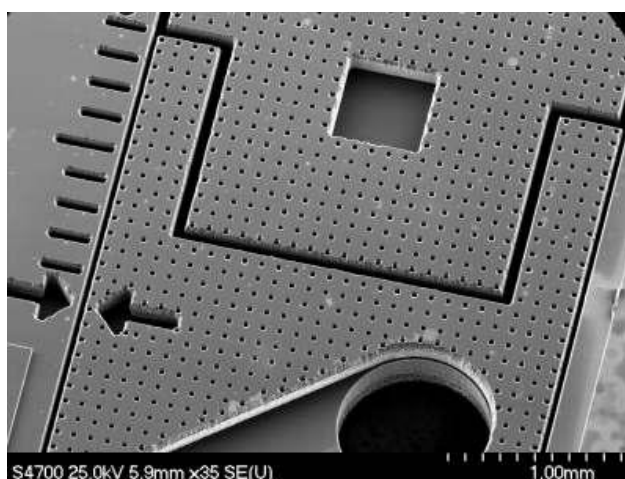


Figura 1 - Micro-acelerômetro ampliado. Os dois "pentas" podem deslocar-se, um em relação ao outro, sob efeito de uma violenta aceleração. (Fonte: MEMS and Nanotechnology Clearinghouse)

Richard Feynman, americano ganhador do Prêmio Nobel de Física, perguntou-se até que ponto poderia chegar essa miniaturização e controle da matéria. Quando de uma conferência, proferida em 1959, estabeleceu as bases desta que se tornaria a Nanotecnologia Molecular, 20 anos mais tarde. Sugeriu, então, que as leis da Física autorizariam a manipulação e o posicionamento, direto e controlado, de átomos e moléculas, individualmente, um a um. Que seria completamente possível usar átomos como se fossem tijolos de construção, evidentemente, levando-se em consideração as forças que atuam sobre eles. Tratava-se de uma idéia extremamente original. Afinal, a existência dos átomos não tinha sido totalmente reconhecida pela comunidade científica, senão há pouco tempo.

Toda a matéria, as casas, o papel, os líquidos, o ar e nós mesmos somos constituídos de átomos. Em realidade, tudo o que podemos ver, tocar ou sentir é constituído de um número muito pequeno de átomos diferentes (algumas dezenas). O ar é principalmente composto de átomos de oxigênio, de nitrogênio e de carbono. A água é composta de átomos de oxigênio e hidrogênio. Os seres vivos são essencialmente compostos de átomos de carbono, hidrogênio e de oxigênio.

O que faz com que uma árvore seja diferente de um homem, ou um computador de uma porção de areia é, logicamente, a organização desses poucos diferentes tipos de átomos. A diferença do arranjo entre os átomos é, por exemplo, a única diferença entre um diamante e um pedaço de carvão, ambos constituídos unicamente de átomos de carbono.

																		H	He			
Li	Be																	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
Fr	Ra	Ac																				
		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
		Th	Pa	U																		

Figura 2 - Tabela periódica dos elementos (Tabela de Mendeleiev).

Os átomos cujos símbolos estão em negrito são aqueles cuja importância prevista para as concepções em nanotecnologia é maior: Hidrogênio (H), Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O), Flúor (F), Silício (Si), Fósforo (P), Enxofre (S) e Cloro (Cl). Os outros elementos podem ser utilizados com menor frequência (Levy, 2000).

Até o momento, todos os métodos de fabricação manipulam os átomos em grandes massas. Mesmo a fabricação ultrafina de chips de computador trata os átomos de forma estatística.

Os átomos são extraordinariamente pequenos em relação à nossa escala. Por exemplo, na espessura de uma folha de papel, é possível empilhar por volta de 400.000 átomos de metal. Há, portanto, muito lugar nessa escala.

De fato, para dar uma imagem mais concreta, Feynman apresentou o seguinte exemplo: utilizando-se um círculo de uma superfície de 1000 átomos por ponto de impressão, seria possível imprimir todas as páginas da Enciclopédia Britânica sobre a cabeça de um alfinete. Feynman prossegue mostrando que, de fato, há tanto lugar nessa pequena escala que, se se souber manipular os átomos individualmente, será possível registrar tudo o que a humanidade escreveu até o presente em um cubo de um décimo de milímetro de lado, ou seja, em um grão de poeira. O objetivo da nanotecnologia molecular, e das pesquisas atualmente em andamento, é chegar a este controle preciso e individual dos átomos.

Capítulo III – APLICAÇÕES DA NANOTECNOLOGIA

1. Introdução

Ciência e tecnologia continuam avançando na fabricação de micro/nano dispositivos e sistemas com possibilidade de aplicação em várias áreas da indústria, comércio e biomedicina. Uma gama de dispositivos MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) já são usados comercialmente. Uma grande variedade de sensores também já é utilizada nas áreas industrial e biomédica. Varias microestruturas e microcomponentes são usados em aplicações industriais.

Dois grandes exemplos na área industrial são os acelerômetros, aparelhos utilizados na linha de montagem de alta tecnologia como sensores (cerca de 85 milhões de unidades comercializadas em 2002 (Bushan, 2004)) e digital micromirror devices, que são micro espelhos utilizados na projeção de imagens que podem chegar a projetar até 35 trilhões de cores (cerca de \$ 400 milhões em vendas no ano de 2001 (Bushan, 2004)). Acelerômetros de silicone são usados no desenvolvimento de airbags para automóveis desde 1991.

A indústria de acelerômetros movimentou cerca de um bilhão de dólares em 2001 (Bushan, 2004), tendo o mercado dominado pela Analog Devices, seguida por Motorola e Bosch. A tecnologia dos digital micromirror devices para projeção digital em home theaters e TVs foi lançada em 1996 pela Texas Instruments, desde então já havia vendido mais de 1,5 milhões de projetores até 2002 (Bushan, 2004).

Outras grandes aplicações industriais incluem sensores de pressão, cartuchos de impressoras jato de tinta e interruptores ópticos. Sensores de pressão absoluta para máquinas foram desenvolvidos em 1991 pela empresa Nova Sensor, que teve suas vendas anuais estimadas em cerca de 25 milhões de unidades em 2002 (Bushan, 2004). As vendas de cartuchos para impressoras jato de tinta com componentes de microescala funcional chegaram a 400 milhões de unidades em 2002 (Bushan, 2004). Sensores de pressão para medir a pressão de pneus foram desenvolvidos pela Motorola.

Outras aplicações de dispositivos de MEMS incluem sensores químicos e gasosos, detectores infravermelhos, instrumentos utilizados em aviões para observações da Terra, aplicações espaciais (NASA), aplicações antimíssil (Departamento de Defesa) e vários outros produtos hidráulicos e pneumáticos.

No que diz respeito às técnicas de manufaturas, a nanotecnologia permite uma melhora, sem precedentes, na qualidade de fabricação. Sendo os átomos colocados de modo preciso, desaparecem quase que completamente os problemas ligados às impurezas e aos defeitos nos materiais. Assim, é possível fabricar materiais mais compactos, utilizando-se muito menos matéria. Seria extraordinariamente reduzido o custo de produção

dos objetos, dado que a fabricação consumiria bem menos energia e matéria-prima que no presente (Bushan, 2004). Além do mais, sendo a produção inteiramente automatizada, os custos com mão-de-obra seriam praticamente nulos.

Realmente, concorda-se em dizer que os custos de fabricação seriam praticamente reduzidos aos custos de concepção (o que é o caso, atualmente, na indústria de softwares para computador). De fato, a matéria-prima pode ser inteiramente reciclada e a energia pode provir de células solares. (O que atualmente limita a possibilidade de utilização de células solares em grande escala é seu custo de fabricação e seu rendimento, dois problemas que a nanotecnologia deverá estar em condições de resolver sem dificuldade.)

A nanomedicina é outra área importante nesse contexto. Acredita-se que ela será menos tóxica que a medicina atual. Já existem projetos de nano-robôs que poderiam penetrar ou “operar” cada célula individualmente, existindo a possibilidade de destruir células cancerígenas. Já ocorre também o desenvolvimento de moléculas fluorescentes capazes de medir algumas centenas de átomos. Essas moléculas apresentam forte brilho quando expostas a algumas funções biológicas como ataques cardíacos, derrames e infecções, o que se constitui como uma forma segura de diagnóstico celular. Evidentemente, uma das conseqüências esperadas é um aumento muito significativo da longevidade, com um estado de juventude preservado.



Figura 3 - Projeto futurístico de um nanorobô perfurando uma célula. (Fonte: Miller, 2005).

BIOMEMS são cada vez mais usados na área comercial e de defesa. Exemplos de aplicações de BIOMEMS são biochips, para análises químicas e bioquímicas, em diagnósticos médicos (DNA, RNA, proteínas, pressão sanguínea, identificação de toxinas). Após a tragédia de 11 de setembro de 2001, o interesse em uma suposta guerra química e biológica conduziu ao desenvolvimento de aparelhos equipados com sensores biológicos e químicos visando detectar germes biológicos e agentes químicos em estações de metrô, aeroportos e estações de tratamento de águas.

Outras aplicações de BIOMEMS incluem cirurgias de alto risco, endoscopia, angioplastia a laser e cirurgias microscópicas. Órgãos artificiais para implante também podem ser produzidos.

Na área biológica deve-se também ressaltar o uso de nanodevices para o sequenciamento de moléculas de DNA no projeto Genoma e a multiplicação celular usando nanotubos de carbono para reparação da espinha cervical, bem como para o crescimento de órgãos e crescimento de tecidos artificiais que utilizam nanofibras.

Em todo o mundo, empresas privadas e governos estão pesquisando como produzir tubos de carbono tão finos pelos quais átomos possam passar um por um. Esses nanotubos poderiam ter muitas aplicações, como agregar resistência tênsil a objetos e reforçar circuitos de silício, o que produziria avanços revolucionários na microeletrônica.

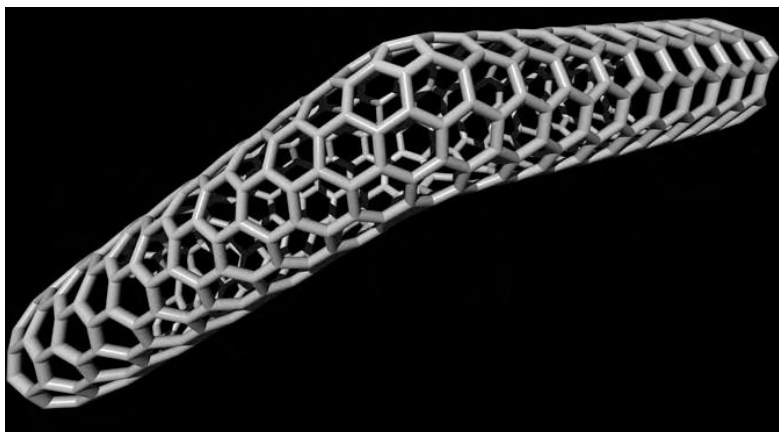


Figura 4 – Representação de um Nanotubo dobrado (Fonte: Miller, 2005).

Na área Nanoeletrônica, os nanodevices podem ser usados para fabricar memórias de computador, usando moléculas individuais ou nanotubos para armazenar bits ou informações, assim como interruptores moleculares, transistores moleculares, circuitos integrados de nanotubos, laser nanoscópico e nanotubos como eletrodos em células.

De acordo com o professor Frederic Levy (2000), membro da Academia Interdisciplinar de Ciências de Paris (AISP), será possível fabricar minúsculos computadores, por exemplo, para controlar os nanorobôs que passeiam pelo corpo humano.

Os projetos deixam antever computadores mais potentes que os supercomputadores atuais, porém com as dimensões de um cubo de dez microns de lado. Pelas mesmas razões anteriores, o custo de fabricação desses computadores seria extraordinariamente reduzido.

Ainda conforme o professor Levy, a nanotecnologia permitirá não somente a reciclagem completa dos resíduos (lixo), quando da fabricação, mas ainda a limpeza do lixo até hoje acumulado. Assim, seria possível "limpar" o planeta. Diminuir, se fosse preciso, a quantidade de CO₂ na atmosfera e amenizar, por assim dizer, alguns problemas ecológicos que o homem criou.

Atualmente, para a produção de objetos em nanoescala são utilizados micro-instrumentos e micro-manipuladores, que incluem cromatografia de gás e espectrômetros de massa.

Na maioria dos casos, as principais aplicações comerciais da nanotecnologia ainda levarão alguns anos para tornarem-se realidade, porém as limitações destes produtos já estão claras, e em alguns casos esses limites parecem imensuráveis.

O advento dessas técnicas daqui a dez, vinte, trinta anos revolucionará os meios de produção, assim como, todos os aspectos da existência humana, como afirma o professor Frederic Levy.

No entanto ainda não é possível dizer como essa transição se dará e se saberemos lidar com os perigos. Contudo, a comunidade científica acredita ser urgente que nos preparemos e é seguindo essa linha de raciocínio que o restante deste estudo foi realizado.

2. Descobertas Recentes

Durante a realização deste estudo, inúmeras descobertas envolvendo a nanotecnologia foram publicadas. Essas descobertas recentes serão mencionadas a seguir.

A fabricante de carros norte-americana General Motors, por exemplo, anunciou que o novo modelo do seu Impala terá uma redução de 7% no peso graças ao uso de um novo material nanocompósito. Além do menor peso, o material propicia a construção de partes mais lisas e pode ser mais facilmente reciclado. O nanocompósito é um material à base de olefina, do qual a empresa é o maior consumidor mundial. Ele foi desenvolvido pela GM em conjunto com a Basell, o maior produtor mundial de resinas de polipropileno, e com a Southern Clay, fabricante de nanocerâmicas.

Mais uma descoberta que pode influenciar o setor automotivo é o Nanorevestimento que elimina embaçamento de janelas e lentes. Desenvolvido por cientistas do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, o novo revestimento polimérico, composto com nanopartículas de sílica, permite a criação de superfícies à prova de embaçamento. A cobertura transparente pode ser aplicada em virtualmente qualquer superfície de vidro,

como óculos, lentes e espelhos de banheiro. O novo revestimento consiste de camadas alternadas de nanopartículas de sílica, o mesmo material que compõe o próprio vidro, e de um polímero chamado hidrocloreto de polialilamina. Os dois componentes são baratos e fáceis de serem fabricados em larga escala.

Na Universidade Federal de São Carlos foi desenvolvida uma combinação de nanopartículas com outros materiais que permitiu o desenvolvimento de um lápis com grafite mais resistente e, ao mesmo tempo, mais macio. O produto acabou sendo adquirido pela multinacional Faber Castell.

No que diz respeito à miniaturização extrema de alguns produtos, já estão sendo pesquisados o nanocarro e o nanorélogio.

O primeiro consiste de um chassi e eixos feitos de grupos orgânicos bem definidos, com sistema de suspensão flexível e eixos que giram livremente. As rodas são "buckyballs", esferas de carbono puro contendo 60 átomos cada uma. O carro todo mede entre 3 e 4 nanômetros de comprimento, o que o torna um pouco maior do que uma molécula de DNA. Um fio de cabelo humano, por exemplo, mede em média 80.000 nanômetros de diâmetro. Outros pesquisadores já haviam montado moléculas no formato de carros, mas o nanocarro agora apresentado é o primeiro que realmente se movimenta como um carro, podendo andar na direção perpendicular aos seus eixos, como um carro normal.

O nanorélogio é baseado na tecnologia MEMS ("MicroElectroMechanical Systems"), o minúsculo equipamento é tanto uma obra de arte quanto uma demonstração do potencial da microengenharia. Ainda que ele tenha sido construído com os mais modernos equipamentos de litografia e microfabricação, um grão de poeira invisível a olho nu é suficiente para travar o mecanismo do micro-relógio e impedir seu funcionamento. E as forças envolvidas na movimentação de suas minúsculas engrenagens exigem uma quantidade enorme de energia, o que faz com que o micro-relógio não seja um primor de precisão.

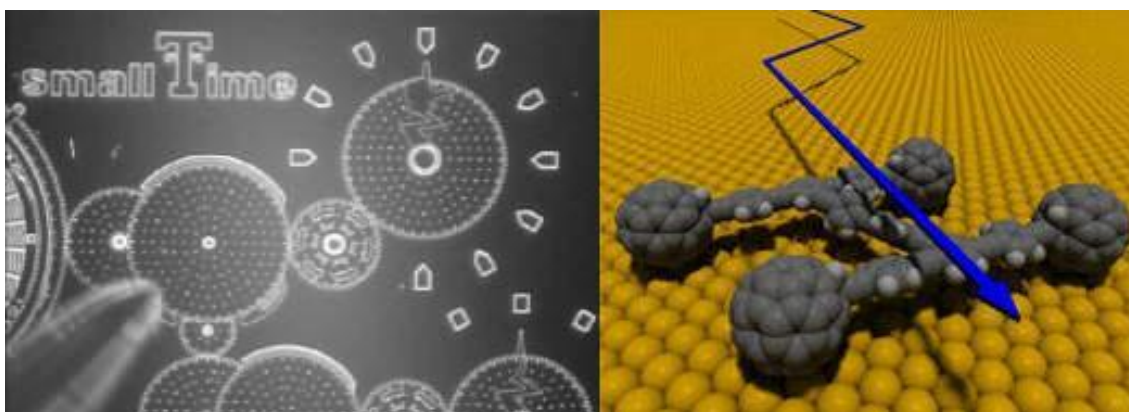


Figura 5 – Nanorelógio e Nanocarro (Fonte: Portal Inovação Tecnológica, 2006).

Na nanoeletrônica, memórias de ultradensidade são um dos principais alvos dos pesquisadores. Trabalhando com nanofios de apenas 3 nanômetros, os cientistas conseguiram estabilizar bits de memória com a simples adição de "fragmentos de água". A inserção das moléculas de água transforma esses nanofios em elementos dipolos locais chaveáveis, ou seja, em elementos básicos capazes de guardar informações digitais - bits magnéticos. A pesquisa demonstra que os bits ficam estáveis em dimensões muito menores do que se imaginava possível. É claro que memórias de computador construídas a partir desse conceito ainda terão que ser desenvolvidas. Mas já é possível ter-se uma idéia do impacto potencial da descoberta. Com bits estáveis nas dimensões alcançadas, é possível a construção de memórias com uma densidade de 100.000 terabits por centímetro cúbico. Com uma memória assim, por exemplo, um iPod conseguiria armazenar músicas MP3 suficientes para tocar durante 300.000 anos, sem repetições.

Bem como a Língua Eletrônica, um nariz eletrônico também está em desenvolvimento num projeto que reúne cientistas da Espanha, Itália e França. Os sensores são na verdade nanobiosensores. Eles são construídos colocando-se uma camada das proteínas que constituem os receptores olfativos do nariz de um animal sobre um microeletrodo. Medindo a reação que ocorre quando as proteínas entram em contato com diferentes odores, o sistema é capaz de detectar cheiros em concentrações que seriam imperceptíveis para os seres humanos.

E para mostrar que o nanomundo já pode ser tratado como uma realidade, dentre algumas descobertas recentes, incluem-se um novo equipamento que permite filmar nanoestruturas, nanogeradores capazes de gerar energia a partir do movimento do corpo humano e nanofios luminescentes, capazes de iluminar o nanomundo.

3. Viabilidade

Inicialmente, pode-se perguntar se é possível manipular com precisão os átomos, a fim de colocá-los onde bem entendermos.

Sobre o problema da viabilidade, os cientistas que estudam a questão, dentre eles Richard Feynman, afirmaram não haver impossibilidade de princípio. Até o momento, ninguém elaborou uma crítica séria contra essa idéia, e muitos pesquisadores realizaram cálculos de viabilidade, simulações em computador que, naturalmente, ainda permanecem teóricas.

Eric Drexler, primeiro pesquisador depois de Feynman a ter redescoberto e difundido o conceito da nanotecnologia, no início dos anos 80, escreveu um livro analisando em detalhes as interações atômicas, com o objetivo de fabricar nanomáquinas. (Nanosystems, Molecular Machinery, Manufacturing and Computation). Criou o instituto americano

Foresight, cujo objetivo é sensibilizar os pesquisadores e o público sobre o advento dessa tecnologia e, ainda, tentar preparar-se para suas conseqüências e seus perigos.

Em *Nanosystems* (1991), Drexler analisa, entre outros, os problemas ligados à agitação térmica dos átomos. O calor não é outra coisa senão a vibração mais ou menos forte dos átomos. Quanto maior o calor, mais intensamente vibram os átomos. Podemos, portanto, acreditar que um aparelho feito de alguns átomos ligados entre si, não quebra, ou funciona mal, à temperatura ambiente. Drexler, seguido por outros pesquisadores, calculou, portanto, as forças que se exercem em tais sistemas. De fato, os programas computacionais para criação de moléculas foram muito melhorados com esse objetivo, e permitem simular as interações entre os átomos, a estabilidade da estrutura, dentre outras características.

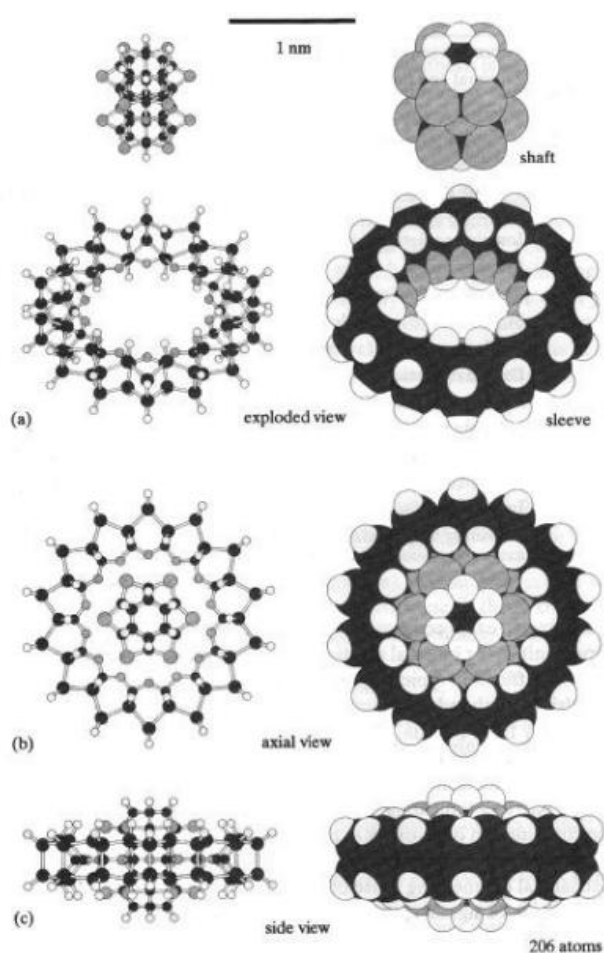


Figura 6 - Desenhos de engrenagens realizadas com átomos de carbono, de hidrogênio e nitrogênio. (Fonte: Drexler, 1991).

Aliás, muitos progressos práticos foram realizados nestes últimos anos. Surgiram vários tipos de aparelhos que manipulam diretamente os átomos, embora ainda de modo bastante rudimentar. Um exemplo clássico é esta foto, na qual as letras IBM estão escritas com átomos, ou ainda aquela, mais recente, representando um ábaco nanométrico.

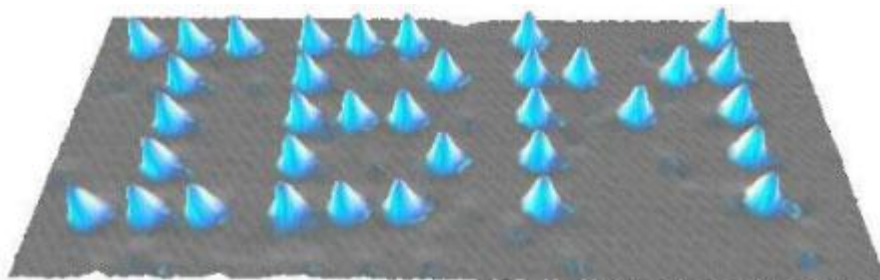


Figura 7 - 35 átomos de Xenon sobre Níquel. Realizada com um microscópio de tunelamento, a $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Fonte: Site da IBM).



Figura 8 - Átomos de Ferro sobre Cobre. (Fonte: Site da IBM)

Esses aparelhos, que permitem ver e manipular os átomos individualmente, são chamados microscópios de tunelamento e microscópios de força atômica (Scanning Tunneling Microscope, Atomic Force Microscope). Permitem não apenas visualizar os átomos de uma superfície, mas também deslocá-los, empurrando-os e arrastando-os pela superfície.

Nesses microscópios, a ponta tem normalmente sua terminação em um único átomo, em relação com a superfície a ser observada. O aparelho desloca a ponta, mantendo-a a uma altura constante, acima da amostra que está sendo observada. Deslocando-se a ponta ao longo de linhas horizontais sucessivas é possível deduzir a topografia da superfície.

Sem a menor dúvida, numerosos problemas práticos se colocam. O aparelho deve ser protegido de qualquer vibração. A própria ponta de medida é constituída de átomos e, às vezes, interage diferentemente, conforme os tipos de átomos observados, como também pode interagir a um só tempo com vários átomos, o que gera resultados às vezes difíceis de serem interpretados. Além disso, as manipulações são freqüentemente realizadas em temperatura bastante baixa, para evitar as vibrações térmicas já mencionadas, e em uma atmosfera rarefeita (sob vácuo), a fim de impedir que os átomos de ar do meio ambiente venham colidir o tempo todo com a amostra observada.

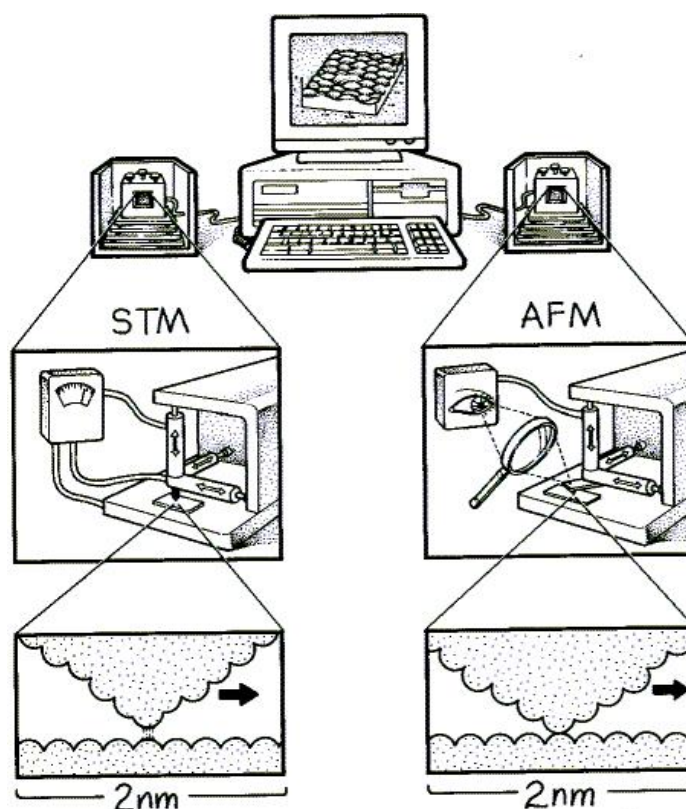


Figura 9 - Funcionamento comparado: microscópio com efeito de tunelamento (STM) e microscópio de força atômica (ATM). (Fonte: Site do Instituto Foresight)

No momento, tudo isso tem ainda muito de "feito em casa", de tateamento, mas os modelos teóricos se sofisticam e, a cada dia, as ferramentas são melhor disciplinadas (por exemplo, as letras IBM foram realizadas a -270°C , o ábaco atômico foi feito à temperatura ambiente).

Não obstante todos esses problemas, os campos de aplicação desses aparelhos

estão em grande desenvolvimento. Diversas empresas foram fundadas para vender tais equipamentos. Enfim, para terminar com a questão da viabilidade da nanotecnologia, pode-se observar que nós somos a prova de que a nanotecnologia é possível.

De fato, os seres vivos são constituídos de verdadeiras máquinas moleculares (DNA, RNA, ribossomos, etc.), que funcionam em escala atômica e coordenam, de maneira extremamente precisa, os átomos e as moléculas que constituem os seres vivos e, diga-se de passagem, com muito mais sucesso.

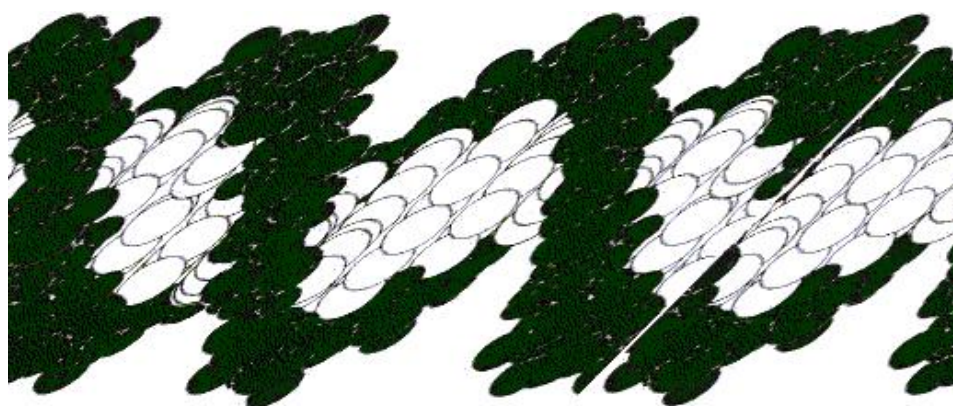


Figura 10 - Filamento de DNA (2,3 nm de comprimento). (Fonte: Crandall, 1992).

4. Críticas

Apesar de parecer tão vantajosa na teoria, a nanotecnologia ainda gera certa desconfiança de alguns setores da sociedade. Cientistas da Universidade de Toronto especulam que a nanotecnologia será o próximo campo de batalha entre a indústria e a opinião pública. Os professores Singer e Daar afirmam que a população precisa compreender e apoiar cada nova tecnologia que avança. Eles afirmam ainda que pode acontecer um aumento das desigualdades entre as nações ricas e pobres, visto que devido aos altos investimentos necessários, as aplicações da nanotecnologia beneficiariam apenas as regiões ricas.

Há ainda quem diga que produtos da nanotecnologia podem trazer riscos ambientais e de saúde. Alguns cientistas acreditam que é preciso tomar cuidado para que o uso irresponsável da técnica não acabe ofuscando os benefícios que ela pode trazer. Pesquisas da Universidade de Rice em Houston identificaram propriedades tóxicas em alguns nanocompósitos.

Outras correntes questionam se haverá uma melhoria na qualidade de vida da população do planeta. Ressaltam que inovações de grande impacto nas últimas décadas, como a microeletrônica, tiveram grandes aplicações no campo militar e reacendem

polêmicas como a qualidade de vegetais geneticamente modificados e alimentos transgênicos.

No começo de 2002, a ONG ambientalista ETC Group, pediu uma moratória mundial na produção de nanoproductos, já que ainda não havia leis regulando o que poderia ser feito. Porém as decisões políticas não podem ser tomadas antes que o conhecimento necessário esteja disponível, fato que também é temido pela comunidade científica.

Como já foi mostrado, a Nanotecnologia apresenta um enorme potencial para revolucionar o desenvolvimento de novos produtos e, conseqüentemente, causar uma mudança drástica nos processos produtivos em relação à forma como são tratados hoje em dia. A adequação de um espaço para a produção de um novo produto ou um novo processo produtivo faz parte das atribuições de um engenheiro de produção, portanto, o restante deste estudo tentou mostrar o que já esta em prática no que diz respeito à aplicação da nanotecnologia em um novo produto.

Capítulo IV – EXEMPLO DE APLICAÇÃO

1. Nanotecnologia no agronegócio

O agronegócio é uma área onde o nosso país pode ter maior competitividade em nanotecnologia, graças às especificidades da agricultura tropical. Neste capítulo será mostrada a “Língua Eletrônica”, produto desenvolvido por pesquisadores brasileiros da Embrapa, uma das empresas que mais investe em nanotecnologia no Brasil, principalmente no setor agrícola.

Dentre as áreas onde a nanotecnologia pode impactar o agronegócio estão o desenvolvimento de novas ferramentas para biotecnologia e para nanomanipulação de genes e materiais biológicos, o desenvolvimento de catalisadores mais eficientes para produção de biodiesel e utilização de óleos vegetais e outras matérias-primas de origem agrícola para produção de plásticos, tintas e novos produtos. Adicionalmente, outras áreas potenciais de impacto no agronegócio incluem a produção de nanopartículas para liberação controlada de nutrientes, pesticidas e drogas, nanopartículas e nanodeposição de filmes bioativos para biofiltros, membranas e embalagens biodegradáveis e/ou comestíveis para alimentos (Embrapa, 2006).

Um resultado inédito das pesquisas em nanotecnologia realizadas pela Embrapa Instrumentação Agropecuária é um sistema sensor, conhecido por “Língua Eletrônica”, no qual filmes ultrafinos de macromoléculas produzidos com controle nanométrico que possuem altíssima área superficial e permitem uma sensibilidade que pode chegar a ser 10.000 vezes maior que a do ser humano. O projeto, que envolve parceiros importantes como a USP, a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), a Enalta Inovações Tecnológicas e o Ministério de Ciência e Tecnologia, tem como objetivo tornar disponível ao mercado sensores para avaliar a qualidade do café e sucos. Trabalhos em andamento demonstram o potencial da “Língua Eletrônica” para outros produtos, como o leite, vinhos e a própria qualidade de água. Esta é uma inserção concreta de uma inovação, inclusive com patente já solicitada pela Embrapa no exterior, oriunda da nanotecnologia, que pode impactar positivamente para importantes produtos do agronegócio brasileiro (Embrapa, 2006).

De acordo com o site da Embrapa, os desafios nesta nova área de conhecimento estão na capacidade do País reconhecer o potencial desta nova tecnologia e conseguir, rapidamente, priorizar investimentos significativos em nanotecnologia para o agronegócio, integrando esforços das mais variadas instituições de pesquisa e empresas do setor. “As oportunidades são imensas e altamente promissoras, e espera-se que o Brasil não perca o

bonde da inovação em uma área em que o país tem demonstrado vocação, capacidade e competência: o agronegócio” (Embrapa, 2006).

2. A Língua Eletrônica

A certificação da qualidade dos produtos e matérias-primas oriundas do agronegócio tem uma demanda crescente. Os consumidores estão cada vez mais exigentes quanto à aparência dos produtos, qualidade nutricional e fitossanitária, palatabilidade, resíduos de defensivos, entre outros parâmetros. Por isso o desenvolvimento de metodologias rápidas e não-invasivas e de aplicação em larga escala é uma das grandes demandas nas quais as pesquisas em nanotecnologia da Embrapa podem contribuir.

A “Língua Eletrônica” foi desenvolvida pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, e representa um avanço no controle de qualidade para a indústria alimentícia, vinícolas, estações de tratamento de água e, possivelmente, na indústria farmacêutica (Embrapa, 2006). Ela é formada por um conjunto específico de plásticos que conduzem eletricidade e que são sensíveis às substâncias responsáveis pelos diferentes tipos de paladar.

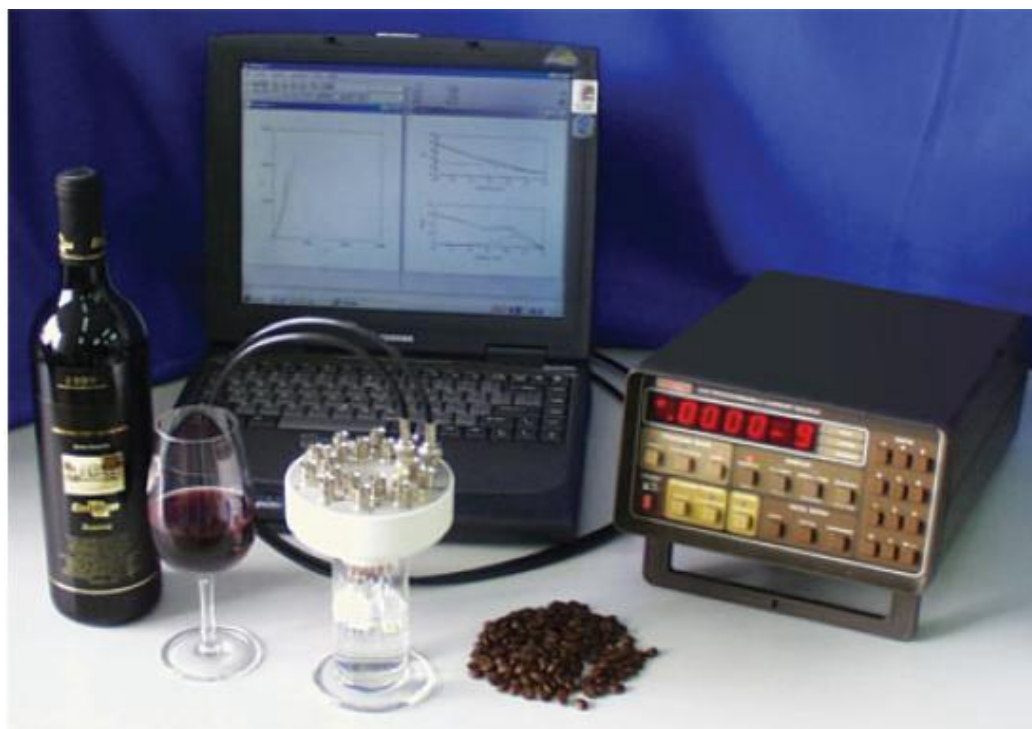


Figura 11 - “Língua Eletrônica” em funcionamento. Os sensores mergulhados em um líquido passam as informações de qualidade diretamente para um software específico. (Fonte: Aspectos da Nanotecnologia e suas potencialidades no Agronegócio, 2006).

O sensor permite com rapidez, precisão, simplicidade e a um custo baixo, verificar a qualidade da água, a presença de contaminantes, pesticidas, substâncias húmicas e metais pesados. A “Língua Eletrônica” diferencia sem dificuldade os padrões básicos de paladar, doce, salgado, azedo e amargo, em concentrações abaixo do limite de detecção do ser humano. O sistema também apresenta excelentes resultados na diferenciação de bebidas com o mesmo paladar, sendo possível distinguir diferentes tipos de vinho, café, chá e água mineral.

O dispositivo, que já pode ser considerado um forte concorrente à classe dos degustadores, é um sensor gustativo para avaliação de líquidos, capaz de reconhecer substâncias doces e salgadas a partir de 5 milimolar - a língua humana só identifica o doce a partir de 10 milimolar e o salgado a partir de 30 milimolar. A “Língua Eletrônica” detecta também o sabor azedo, amargo e *umami* (relativo a frutos do mar e comidas asiáticas), além de identificar a mistura entre eles. O sistema diferencia ainda bebidas de mesmo paladar, como variedades distintas de café ou água mineral. Testes preliminares demonstraram a aplicabilidade do invento também para aromas, mas a análise de alimentos sólidos permanece distante.

A “Língua Eletrônica” consiste em um conjunto de unidades sensoriais que devem ser mergulhadas no líquido analisado. Essas unidades são eletrodos metálicos recobertos por uma finíssima camada de diversos polímeros “inteligentes” - plásticos sensíveis às substâncias presentes na bebida. Os eletrodos geram padrões de sinais elétricos que variam em função da bebida avaliada. Como os polímeros “inteligentes” conduzem eletricidade, eles transformam a interação entre as unidades sensoriais e a bebida em sinais elétricos que são captados por um software apropriado, programado para fazer a conversão para os paladares conhecidos por meio de “inteligência artificial”.

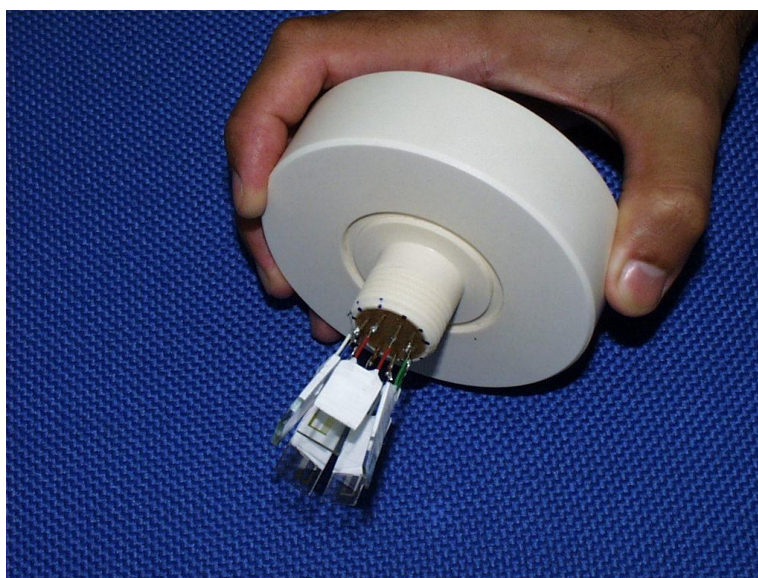


Figura 12 – Destaque para as unidades sensoriais da “Língua Eletrônica”. (Embrapa, 2006).

A rapidez na resposta e o menor custo tornam o invento altamente vantajoso em relação a equipamentos de laboratórios de análises químicas e físicas. Além do emprego evidente nas indústrias de bebidas e alimentos, a “Língua Eletrônica” servirá também às indústrias farmacêuticas no teste de sabor de remédios, ou na detecção de impurezas e aditivos no monitoramento da qualidade da água (Embrapa, 2006).

O invento, cujo projeto custou R\$ 1 milhão (Embrapa, 2006), foi automatizado com o uso de inteligência artificial em parceria com o Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação e o Instituto de Física da USP de São Carlos.

No café, a “Língua Eletrônica” é capaz de avaliar e classificar, segundo o seu paladar, qualidade, regiões e possivelmente produtores, detectar adulterações nos produtos comercializados e monitorar a consistência de paladar e qualidade dos produtos produzidos no país.

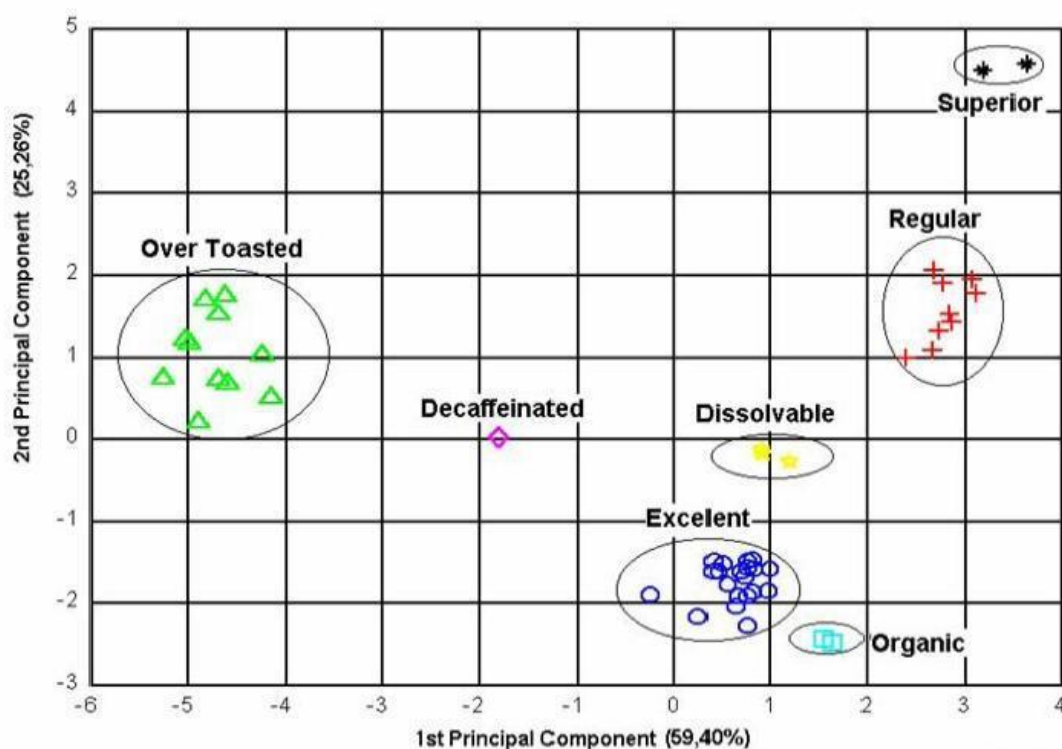


Figura 13 – Classificação de café. (Fonte: Aspectos da Nanotecnologia e suas potencialidades no Agronegócio, 2006).

Os resultados obtidos até o momento são bastante animadores. Já se conseguiu, por exemplo, diferenciar e classificar todos os cafés analisados, como blends de arábica e robusta, cafés comerciais tradicionais, superior e gourmet, solúvel e descafeinado (Embrapa, 2006).

De acordo com o pesquisador Luiz Henrique Capparelli Mattoso, responsável pelo desenvolvimento do equipamento, que se iniciou em meados de 2001, a “Língua Eletrônica”

deve ser um instrumento eletrônico a ser usado como uma ferramenta pelas indústrias de café e pelos degustadores, para poder classificar e quantificar com melhor precisão a qualidade da bebida.

Atualmente, os testes para avaliação do paladar de bebidas são feitos por degustadores, enquanto que a avaliação de água é feita por análise química em laboratório e são bastante demorados. Com a “Língua Eletrônica” é possível fazer testes contínuos na linha de produção em tempo real e em segundos. O equipamento pode ser usado como uma ferramenta para auxiliar o degustador, permitindo medidas contínuas e de maior precisão.

A Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) assinou contrato com a Embrapa para utilizar o aparelho em seu Programa de Qualidade, lançado em 2002.

A próxima fase de análise prevê o estudo do efeito da temperatura de torra no paladar da bebida; a classificação do café quanto aos padrões de paladar (estritamente mole, mole, dura, riado, rio, rio zona); a classificação dos cafés e correlação com a sua acidez, amargor, sabor e possivelmente outras características da bebida; estudo da evolução do paladar dos cafés em função do tempo de estocagem para avaliar as condições adequadas para a bebida do café; desenvolvimento de um “nariz eletrônico” para avaliação de aroma de café, conjuntamente com paladar da bebida; e verificação da presença de adulterantes e contaminantes (Embrapa, 2006).

De acordo com o chefe-geral da Embrapa Instrumentação, Ladislau Martin Neto, “o sensor é um dos raros exemplos de resultados da nanotecnologia no Brasil, uma área inovadora e que promete revolucionar vários setores da economia, da indústria ao agronegócio”.

O invento foi exposto na Feira Internacional de Pecuária, Avicultura, Pesquisa e Tecnologia de São Carlos (Feipecus 2005) e no Congresso Internacional de Nanotecnologia (Nanotec 2005) realizado em São Paulo onde atraiu muita atenção do público e da imprensa.

Segundo Ladislau Martin Neto, a exposição da “Língua Eletrônica” na Feipecus em funcionamento e fazendo análise ao vivo, visou demonstrar a capacidade já existente em nanotecnologia na Embrapa e as perspectivas concretas de gerar outras tecnologias de interesse de produtores e agroindústrias.



Figura 14 – “Língua Eletrônica” em funcionamento. Destaque para as unidades sensoriais mergulhadas na água. (Embrapa, 2006).

O chefe-geral cita, por exemplo, a aplicação na liberação controlada de medicamentos veterinários, reduzindo custos e melhorando os produtos de origem animal. “É uma das promessas da nanotecnologia e na qual a Embrapa quer investir”.

Em 2001, o equipamento recebeu o Prêmio Governador do Estado de São Paulo, categoria Invento Brasileiro, concedido pelo Serviço Estadual de Assistência aos Inventores - SEDAI - da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico de São Paulo. O prêmio tem como objetivos reconhecer o esforço da pesquisa realizada na área de desenvolvimento científico-tecnológico, colaborar na aceleração deste processo de desenvolvimento e divulgar a tecnologia gerada no País, visando sua efetiva incorporação ao mercado. O Prêmio Governador do Estado – Invento Brasileiro é a maior láurea concedida pelo Governo de São Paulo em tecnologia.

Segundo Mattoso, o prêmio recebido não foi uma surpresa para os inventores, pois desde o início das pesquisas, já conheciam o potencial do equipamento, sua qualidade e a importância dos resultados obtidos.

Capítulo V – CONCLUSÃO

A nanotecnologia apresenta-se como um tema que pode influenciar diversas áreas; econômica, militar, biológica, tecnológica, etc. No entanto, apesar do enorme potencial que tem de revolucionar essas áreas de conhecimento, ainda não é possível saber de forma concreta como essa transformação se dará.

Inovações tecnológicas devem ser não somente tecnicamente possíveis, mas também ambiental e biologicamente seguras, economicamente vantajosas, socialmente benéficas e eticamente aceitáveis. Tudo isso legalmente regulamentado. Á partir destas afirmações surgem inúmeros questionamentos em relação à nanotecnologia que muitas vezes ainda não é possível responder.

No aspecto econômico observa-se que governos nacionais e grandes empresas estão investindo maciçamente neste campo e as bolsas de valores do mundo inteiro sofrem grande agitação com o movimento especulativo em torno da nanotecnologia. Com o esperado aumento dos incentivos privados e governamentais para pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia e com a popularização do tema, espera-se que novos produtos, como a língua eletrônica, surjam nos próximos anos.

É possível concluir ainda que a nanotecnologia mostra grande relevância em diversas áreas da engenharia de produção, dentre as quais é possível citar Engenharia dos Materiais, no que diz respeito às características dos elementos químicos que tem maior importância para a nanotecnologia e pela possibilidade de fabricação de novos materiais com diferentes características como densidade e pureza; Engenharia do Produto, no que tange a probabilidade do surgimento de novos produtos e com funcionalidades diferentes dos que conhecemos atualmente como alguns já citados nos capítulos anteriores e, conseqüentemente, o surgimento de diferentes técnicas de produção; Processos Produtivos, com o advento de novas técnicas de manufatura, novos processos de fabricação podem surgir não só na escala macrométrica, mas também na escala nanométrica, o que representaria um grande desafio para quem trabalha e gerencia esses processos e, conseqüentemente, algum profissional deve estar habilitado a lidar com este tipo de inovação; Planejamento Estratégico e Empresarial, na forma de planejar das empresas, que devem estar sempre atentas ao advento de novas tecnologias para não serem superadas por seus concorrentes e até mesmo mantendo constantes pesquisas em áreas como a nanotecnologia para ter a possibilidade de ganhar novos nichos de mercado dependendo dos resultados obtidos pelo setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa. Parcerias entre grandes empresas e centros de pesquisa em nanotecnologia são cada vez mais freqüentes e têm se mostrado vantajosas para ambos os lados. Uma pequena mudança em determinado material ou processo utilizado na linha de montagem de uma indústria pode

significar uma importante vantagem competitiva para a empresa; Controle de Qualidade, pois produtos com novas características exigirão outro tipo de controle de qualidade, no caso da nanotecnologia é possível que seja necessário um controle bem mais preciso do que conhecemos hoje em dia, devido a uma possível melhoria nos processos e aumento da confiabilidade de alguns dispositivos; Logística, na forma de transporte e armazenagem dos produtos da nanotecnologia. A miniaturização extrema de alguns produtos pode tornar mais fácil e mais rentável o transporte e a estocagem desses produtos; Gestão Ambiental, no que diz respeito à administração dos diferentes tipos de resíduos que podem surgir a partir de novos produtos, produzidos com diferentes técnicas de produção, incluindo a possibilidade de que os resíduos de uma linha de montagem sejam reduzidos a praticamente zero.

Enfim, existem inúmeros aspectos em que o engenheiro de produção deve ficar atento com o advento da nanotecnologia e acredito que este assunto será parte fundamental da ementa de determinadas disciplinas ministradas aos graduandos nesta área.

Espero que este trabalho tenha permitido um melhor entendimento sobre esta área de pesquisa tão ativa atualmente e que contribua para despertar o interesse dos futuros graduandos em engenharia de produção na Universidade Federal de Juiz de Fora.

Capítulo VI – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“AGÊNCIA FAPESP”, <http://www.agencia.fapesp.br>, (Consulta: Maio de 2006).

“BIBLIOTECA LQES DE NANOTECNOLOGIA”,
http://lqes.iqm.unicamp.br/institucional/bibliotecas/bibliotecas_lqes_nanotecnologia.html,
(Consulta: Outubro de 2005).

BUSHAN, B. (Editor), "Springer Handbook of Nanotechnology", First Edition, New York, Springer Verlag, 2004.

CRANDALL, B.C., LEWIS, K.J. (Editors), "Nanotechnology: Research and Perspectives", First Edition, Massachusetts, MIT Press, 1992.

DREXLER, K.E., "Nanosystems: Molecules, Machinery, Manufacturing and Computations", First Edition, New York, John Wiley and Sons, 1991.

DREXLER, K.E., "Unbounding the Future: The Nanotechnology Revolution", First Edition, New York, William Morrow and Company, 1991

ETC Group, "Nanotecnologia: Un Pequeno Gran Paso", *Comunicado de Prensa*, Winnipeg, 2002.

ETC Group, "Principe Peligros de Nanotecnologia", *Comunicado de Prensa*, Ottawa, 2004.

FEYNMAN, Richard P., "There's Plenty of Room at the Bottom", *Encontro Anual da Sociedade Americana de Física, Caltech, California, 1959.*

“FORESIGHT NANOTECH INSTITUTE”, http://foresight.org/UTF/Unbound_LBW, (Consulta: Fevereiro de 2006)

“INOVAÇÃO TECNOLÓGICA”, <http://www.inovacaotecnologica.com.br>, (Consulta: Junho de 2006).

LEVY, F., "Introdução a Nanotecnologia Molecular", *Academie Interdisciplinaire des Sciences de Paris (AISP), Paris, 2000.*

“MEMS and Nanotechnology Clearinghouse”, <http://www.memsnet.org/mems/what-is.html>, (Consulta, Outubro de 2005)

MILLER, JOHN C., SERRATO, R., KUNDAHL, G., “The Handbook of Nanotechnology: Business, Policy and Intellectual Property Law”, First Edition, New Jersey, Wiley, 2005.

“MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA”,

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/727.html>, (Consulta: Maio de 2006)

NABOK, ALEXEY, “Organic and Inorganic Nanostructures”, First Edition, Boston, Artech House, 2005

NETO, LADISLAU M., “Aspectos da Nanotecnologia e suas potencialidades no Agronegócio”, *Lançamento do Laboratório Nacional de Nanotecnologia para o Agronegócio – LNNA*, São Carlos, 2006.