

Nanotecnologia: um estudo sobre seu histórico, definição e principais aplicações desta inovadora tecnologia

Luiz Paulo Cadioli

Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais - USP
Coordenador dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de Controle e Automação e Diretor da Faculdade Politécnica de Matão
e-mail: luiz.cadioli@unianhanguera.edu.br

Luzia Dizulina Salla

Aluna do Curso Superior de Tecnologia em Produção
ênfase-Industrial FATEC - Faculdade de Tecnologia - Centro Paula Souza
e-mail: luziasalla@yahoo.com.br

■ **Resumo**

A nanotecnologia vem revolucionando o mundo da ciência e tecnologia, trazendo grandes expectativas para o desenvolvimento de países e indústrias. O ponto inicial da nanotecnologia foi à palestra proferida por Richard Feynman em 1959, onde o mesmo propôs a manipulação de átomos e que o homem não necessitava meramente de aceitar os materiais da forma que a natureza provê, desde que as leis da natureza não sejam afetadas. A partir deste momento uma revolução vem acontecendo na ciência e na engenharia, por se tratar na habilidade de manipular átomos, compreendida por uma escala de 10^{-9} m, visando criar uma nova organização estrutural, capaz de apresentar comportamentos e propriedades diferentes dos materiais atualmente conhecidos. Por se tratar de tecnologia multidisciplinar, que consiste na área da física, química, biologia e medicina, o campo de aplicação da nanotecnologia é vasto, porém os grandes destaques estão na nanoeletrônica, nanobiotecnologia e nanomateriais.

Palavras-chave: nanotecnologia, átomos, nanoeletrônica, nanobiotecnologia, nanomateriais.

■ **Abstract**

The nanotechnology come be revolution the world of science and technology, bringing big expectation to the development of countries and industrials. The initial point of the nanotechnology went to lecture uttered by Richard Feynman in 1959, where the same proposed the manipulation of the atoms and that the man did't need merely to accept the materials in the way that the nature provides, since the laws of the nature are not affected. Now one revolution come happening the science and engineering for be treat ability for mix atoms, understand scale of 10^{-9} m, view generate on new structural organization, able to present comportments and proprieties from materials nowadays know. For be treat technology multidisciplinary with consisting physics, chemistry, biologic and medicine space, the field of application of the nanotechnology is vast even so the great prominences are in the nanoelectronics, nanobiotectchnology and materials.

Key-words: Nanotechnology, atoms, nanoelectronics, nanobiotectchnology, nanomaterials.

■ Introdução

No decorrer de sua existência o homem, provou e continua provando até os dias de hoje que a mudança é essencial para a sobrevivência. Mudar está ligado ao processo de inovar.

As transformações no decorrer do tempo tomaram ritmo intenso e acelerado, com abrangência mundial. Com a crescente transformação do mundo contemporâneo, as organizações passam a serem obrigadas a reestruturar as suas ações e seu posicionamento competitivo, para se manterem no mercado, afinal fica claro que o mundo não é o mesmo de alguns anos atrás.

Um cenário composto por globalização de mercados, formações de blocos econômicos em diversas regiões do planeta, além dos avanços tecnológicos demonstram que estamos inseridos num cenário de alta mutação, e é neste cenário que a nanotecnologia encontra-se inserida. Uma tecnologia capaz de parecer ficção, quando a princípio em 1959 Feynman, proferiu visionárias palavras, induzindo a concepção que o homem poderia manipular os átomos e conseqüentemente criar novas estruturas a fim de obter novos materiais. Hoje a nanotecnologia apresenta-se como das áreas mais atraentes e promissoras para o desenvolvimento tecnológico. A união das varias ciências, torna-a uma ciência complexa, diferenciada das demais. Suas aplicações abrangem os mais distintos campos.

O objetivo deste artigo é abordar o aspecto inovador da nanotecnologia, seu histórico, a definição, a diferenciação de nanotecnologia e nanociência, uma ciência interdisciplinar e multidisciplinar, e aplicações desta inovadora tecnologia.

■ Histórico

Em dezembro de 1959, em uma palestra no Instituto de Tecnologia da Califórnia, intitulada como “Há muito espaço lá embaixo”, hoje tomada como ponto inicial da nanotecnologia, o então físico *Richard Feynman*, proferiu visionárias palavras a seus colegas da Sociedade Americana de Física. Foram usadas aproximadamente sete mil palavras para traduzir idéias que, no princípio pareciam ficção. Porém ninguém era capaz de imaginar que estas palavras seriam capazes de alterar profundamente a imagem do mundo.

As palavras de *Feynman* (1959), apud.

Fargan (2005) foram:

“Não tenho receio em considerar como questão final se, por fim um futuro distante, nos pudermos arranjar os átomos da maneira que quisermos (...). O que aconteceria se pudéssemos arranjar os átomos um por um, do jeito que quiséssemos?”

Feynman (1959), apud. Da Silva (2005) foi além, proferindo os seguintes dizeres:

“Os princípios da física, pelo que eu posso perceber, não falam contra a possibilidade de manipular as coisas átomos por átomos. Não seria uma violação da lei, é algo que teoricamente, pode ser feito mas que na prática, nunca foi levado a cabo, porque somos grandes demais.”

Feynman ainda propôs, no decorrer desta palestra colocar os vinte quatro volumes da Enciclopédia Britânica na cabeça de um alfinete, causando grande repercussão entre os presentes. Para ele, o mundo não era lugar para pequenas idéias, mas sim para grandes idéias, acreditando que assim como o homem aprendeu a manipular o barro, utilizando este como elemento essencial na fabricação de tijolos, e com esses construir casas, o homem também é capaz de manipular diretamente os átomos e a partir desta manipulação construir novos materiais que não ocorrem de forma natural.

A idéia transmitida, é que manipular átomos e conseqüentemente produzir novos materiais, é apenas questão de conhecimento e disponibilidade de tecnologia para tornar realidade. O homem não precisa aceitar os materiais que a natureza fornece como os únicos e possíveis no universo, desde que as leis da natureza não sejam violadas.

Hoje o físico *Richard Feynman*, é considerado o “Pai da Nanotecnologia”, devido a sua ampla visão futurística, apresentada em 1959, sobre a capacidade de manipulação dos átomos, atualmente realidade.

A figura 2.1 mostra *Richard Feynman*, considerado como pai da nanotecnologia.

Figura 2.1 - Richard Feynman

FONTE: Capozzoli (2002).



Em 1974, o professor *Norio Taniguchi*, da Universidade de Ciência de Tóquio cria a palavra “nanotecnologia”, designando-a como o conjunto de estudos e aplicações referentes aos objetos e processos na escala de nanômetro.

Gerd Binnig e Heinrich Rohrer no ano de 1981, no laboratório da IBM em Zurique, na Suíça, cria um aparelho com capacidade de enxergar átomos, ou seja, o microscópio de varredura por tunelamento (STM). Este microscópio se caracteriza por uma minúscula ponta feita de material condutor que percorre ou varre toda a superfície a ser analisada, a ponta e o substrato onde se deposita a amostra ficam ligados por um circuito. Aplica-se então uma tensão elétrica no circuito e abaixa a ponta do microscópio até quase encostar na amostra, a distância entre a ponta e a amostra é de apenas alguns nanômetros. Se os elétrons, que apenas deveriam passar da amostra para a ponta, se as duas estivessem encostadas pulariam pelo ar, tunelando e conseqüentemente fechando o circuito entre a ponta e a amostra, criando uma corrente com voltagem infinitamente pequena, da ordem de alguns nanoampéres.

Com o microscópio de varredura por tunelamento, passou a se enxergar átomos, nunca vistos ou imaginados anteriormente, além de conseguir manipulá-los.

O microscópio de varredura por tunelamento, valeu a seus inventores em 1986, o Prêmio Nobel da Física.

No ano de 1986, *Eric Drexler*, o primeiro cientista a doutorar-se em nanotecnologia, populariza o conceito de nanotecnologia, através de seu livro “*Engines of Creation*”. Apesar deste livro possuir uma visão de ficção científica, o mesmo é baseado num trabalho sério desenvolvido pelo cientista.

A nanotecnologia que *Drexler*, propõe é a nanotecnologia que é considerada a nanotecnologia

molecular, que pressupõe a construção de átomo a átomo. O ápice da nanotecnologia para *Drexler*, é o Montador Universal, que é um dispositivo capaz de acatar instruções do programador, construindo átomo a átomo qualquer máquina imaginada pela mente humana.

Em seu livro, *Drexler* mencionava a construção de um assembler molecular, que seria uma espécie de máquina minúscula que primeiro manipularia os átomos de forma a construir outra máquina idêntica a si própria e depois se replicaria quantas vezes que fossem necessárias, objetivando produzir uma força de trabalho capaz da produção em larga escala em nível atômico.

Esta abordagem próxima da ficção científica, faz com que cientistas mais interessados na prática da nanotecnologia, tenham uma certa desconfiança da visão de *Drexler*.

Ainda no ano de 1986, *Gerd Binnig* inventou uma ponta do microscópio capaz de enxergar qualquer coisa. Junto à ponta, foi acoplado um pequeno pedaço de diamante que contorna os átomos exercendo uma pressão pequena, o suficiente para não destruí-la. Este ficou conhecido como o microscópio de força atômica (AFM), conforme mostra a figura 2.2, a ponta do microscópio de força atômica. Conforme o pedaço de diamante se move quando encontra saliência, move-se também a ponta, gerando assim imagens como no STM. O AFM possibilita ver os átomos e além disso move-los um a um, quando aplicada uma tensão elétrica extremamente forte entre a ponta do microscópio e a amostra, fazendo com que um átomo salte e grude na ponta. Porém se a polaridade da corrente for invertida, o átomo volta para baixo com força, ficando encaixado neste ponto.

Figura 2.2 - Microscópio de força atômica (AFM)

FONTE: Capozzoli (2002).



Em 1989, *Donald M. Eigler* da IBM na

Califórnia, nos Estados Unidos, escreve as letras da companhia, utilizando 35 átomos de xenônio, mostrando que estruturas poderiam ser construídas átomos por átomos ou moléculas por moléculas. Ele alinhou os átomos xenônio para escrever o logotipo da empresa sobre uma superfície de níquel. Isto ocasionou um imenso interesse entre os cientistas, na busca de se conseguir o melhor domínio da técnica de manipular o átomo.

No ano de 1991, o professor *Sumio Iijama*, da NEC, em *Tsukuba* no Japão descobre os nanotubos de carbono.

Segundo (DURÁN, MATTOSO E DE MORAIS 2006, p.17) “Os nanotubos de carbono vem revolucionando a nanotecnologia por exibirem resistência mecânica extremamente alta e propriedades de aplicações singulares como, por exemplo, ao serem utilizados como nanopinças no posicionamento de átomos e moléculas.

Para (GOUVÊA 2004) “Os nanotubos de carbono podem ser usados como condutores ou semicondutores. E são sólidos. A produção desses nanotubos de carbono, mudou radicalmente a percepção da aplicação mais difundida de produtos nanos. Com esses desenvolvimentos a nanotecnologia estava criada.”

A nanotecnologia se apresenta como uma promissora tecnologia, contudo nos últimos anos, grande quantidade de estudos vem sendo realizados com sentido de concretizar novas idéias, que surgem nesta área. A nanotecnologia caminha de forma contínua e de rápida ascensão.

Definição de nanotecnologia

A nanotecnologia vem revolucionando o mundo científico, trazendo consigo esperanças revolucionárias a este setor que se caracteriza pela diversificação. Mas afinal o que é nanotecnologia?

“Nanotecnologia é um conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação que são obtidas graças às especiais propriedades da matéria organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas”. (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT), DESENVOLVIMENTO DA NANO-CIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA PPA 2004-2007).

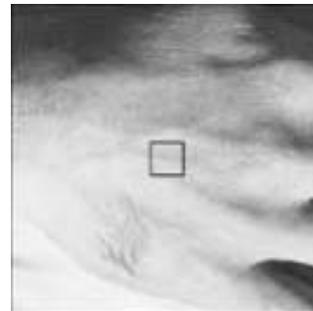
Segundo Toma e Araki (2005) nano - significa “anão” em grego, sendo um prefixo usado na notação científica, utilizado para expressar um bilionésimo (10^{-9}). Um nanômetro (nm) equivale a 10^{-9} , ou seja, um

bilionésimo de metro.

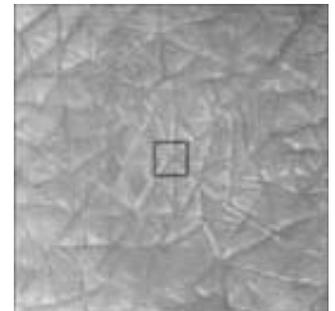
Para Durán, Mattoso e De Moraes (2006), a tecnologia significa prática do conhecimento, estudo ou ciência, em grego podendo ser geralmente descrita como aplicações do método científico com objetivos práticos e comerciais. Portanto, a nanotecnologia significa de maneira geral, a habilidade de manipulação dos átomos na escala compreendida entre 0,1 e 100 nm, visando criar estruturas maiores fundamentalmente com nova organização estrutural e, normalmente com fins comerciais. Estas estruturas alteradas proporcionarão materiais nunca antes imaginados pelo ser humano, além de que estes materiais modificarão de maneira complexa as formas de produção de empresas de todos os setores.

Através da figura 2.3 uma seqüência de imagens será apresentada, que vai deste a pele da mão aos átomos do DNA, a margem dimensional de cada imagem apresentada é 10 vezes menor que a anterior. A figura levará a conhecer um nanômetro, através de comparações.

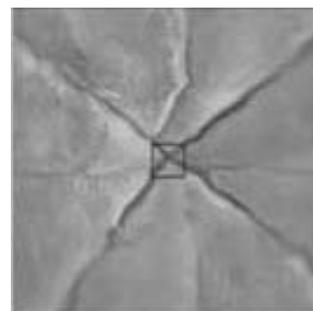
Mão



10 centímetros



1 centímetro

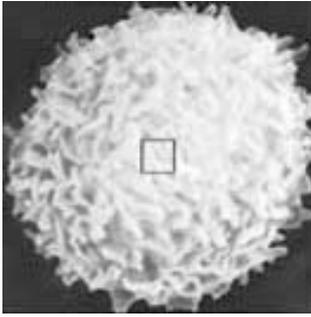


1 milímetro

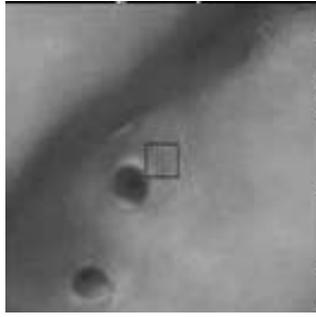


100 microns

Célula do Glóbulo Branco

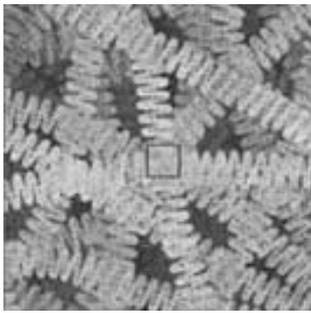


10 microns

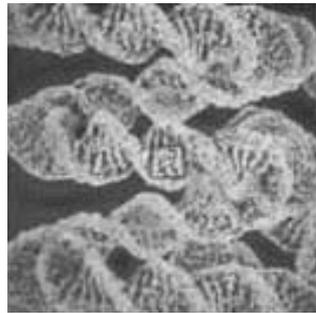


1 microns

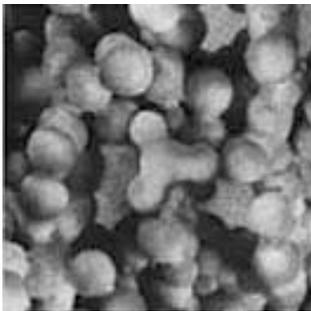
DNA



100 nanômetros



10 nanômetros



1 nanômetro

Figura 2.3 - Tamanhos comparativos

FONTE: Capozzoli (2002).

Modificar o arranjo de átomos e moléculas ou seja realizar sensíveis modificações no arranjo estrutural, poderão levar os materiais a apresentarem características não presentes nos tradicionais. Essas alterações estruturais podem afetar características físicas, químicas, mecânicas e biológicas que poderão levar a criação de matérias com características incomparáveis. De acordo com Toma (2005), apud. Sant'Anna (2005), prova de que formas diferentes de estruturas moleculares podem alterar características de uma substância, é o exemplo da concha do mar e do giz, pois ambos são feitos de carbonato de cálcio, porém a concha tem uma estrutura

molecular diferente e 30 mil vezes mais dura que a do giz. Toma é ciente de que se o homem conseguir manipular o carbonato de cálcio, poderá obter um giz muito mais resistente do que os existentes hoje.

O mesmo aconteceria com o diamante e o grafite. O diamante é a substância mais dura conhecida, na qual elétrons que estão entre os átomos de carbono, formam uma ligação covalente, em 3D. Já o grafite também se encontra unido fortemente através de ligações covalentes, mas apenas em um plano, fazendo com que estes átomos de carbono empilhem-se uns aos outros, pois as forças de união destes átomos são muito fracas. O homem manipulando os átomos do grafite, poderá um grafite com estrutura diferente podendo render resistência e qualidade.

A nanotecnologia é uma tecnologia baseada em dimensões nanométricas. Cujas aplicações visam ampliar a capacidade humana de manipular a matéria até os limites do átomo.

Contudo para o sucesso da nanotecnologia, levando-se em consideração o seu aspecto científico, até o seu desenvolvimento tecnológico, o domínio de algumas etapas é essencial.

De acordo com Brum (2002) as etapas são:

- **A síntese dos materiais nano**

É necessário sintetizar novos materiais com as dimensões nanométricas (formados por centenas ou mesmo milhares de átomos), na forma desejada, com precisão (nanométrica ou sub-nanométrica) e, se for desejada uma aplicação tecnológica viável, é necessário ser capaz de reproduzir o processo com alta tecnologia.

- **A caracterização e análise dos nanomateriais**

É necessário conhecer com precisão as propriedades intrínsecas dos nanomateriais, como composição, estrutura, morfologia, e como isso pode ser utilizado para gerar materiais com propriedades pré-estabelecidas.

- **A manipulação de nanoobjetos**

Esta etapa é essencial para a formação de estruturas e sistemas que possam integrar-se para realizar funções complexas e também integrar-se com o mundo macroscópico, com o qual estamos habituados e podemos operar diretamente.

Nanociência e nanotecnologia

Existe uma clara distinção entre o termo

nanociência e nanotecnologia, porém o termo nanotecnologia por ser uma expressão mais comum é mais usado. Muitas vezes quando as pessoas falam de nanotecnologia, estão falando de pesquisa científica, ou seja estão falando de nanociência.

Segundo Pacheco et. al (2005), a nanociência refere-se aos estudos dos fenômenos e da manipulação dos materiais em escala atômica, molecular e macromolecular, onde as propriedades diferem dos de grande escala. A nanotecnologia refere-se a o projeto, caracterização, produção e aplicação de estruturas, equipamentos e sistemas através do controle e da forma e do tamanho em escala nanométrica.

Nanotecnologia, uma ciência inter e multidisciplinar

Diferentemente das demais tecnologias e ciências existentes, que se resumem em se utilizar de disciplinas específicas, a nanotecnologia é inter e multidisciplinar, devido sua complexidade e abrangência.

Geralmente a nanociência é designada como uma ciência transversal ou horizontal, por se infiltrar virtualmente em todos os setores tecnológicos. A união de diferentes domínios da ciência e o beneficiamento com uma abordagem interdisciplinar ou convergente, visam resultar em inovações capazes de contribuir com a solução de muitos problemas enfrentados pela sociedade.

Segundo Borschiver et. al (2005)

As áreas de aplicação da nanotecnologia abrangem praticamente todos os setores industriais e de serviços. A multiplicidade de aplicações é imensa e demanda de conhecimentos multidisciplinares, baseados na física, química, biologia, ciência e engenharia de materiais, computação, entre outras áreas, que visam estender a capacidade humana de manipular a matéria até os limites do átomo.

Para Duran , Mattoso e De Moraes (2006)

A nanotecnologia é claramente uma área de pesquisa e desenvolvimento muito ampla e interdisciplinar uma vez que se baseia nos mais diversificados tipos de materiais (polímeros, cerâmicas, metais, semicondutores, compósitos e biomateriais), estruturados em escala nanométricas - nanoestruturados - de modo a formar blocos de construção (*building blocks*)

como *clusters*, nanopartículas, nanotubos e nanofibras, que por sua vez são formados através de átomos ou moléculas. Dessa forma, a síntese controlada desses blocos de construção e subsequente arranjo para formar materiais ou dispositivos nanoestruturados constituem os objetivos centrais da nanotecnologia.

De acordo com Fortunato (2005), a nanotecnologia é verdadeiramente uma ciência multidisciplinar, pois os cientistas de materiais, os engenheiros eletrônicos e mecânicos e os investigadores médicos estão trabalhando em conjunto com os biólogos, físicos e químicos. A união da investigação à nanoescala deve-se a necessidade de partilhar o conhecimento sobre ferramentas e técnicas, assim como sobre conhecimentos parciais em matéria de interações atômicas e moleculares, nesta nova fronteira científica. Rapidamente estão para convergir diferentes áreas de investigação de novos e potentes conceitos e capacidades, tais como representações por imagens e a manipulação à escala atômica, a auto-montagem e as relações biológicas estrutura-função, a par das ferramentas de informática cada vez mais poderosas.

A união de diferentes áreas na busca de inovações imagináveis podem resultar para a sociedade, em amplos benefícios em todos os setores.

Áreas e principais campos de aplicação

O poder da nanotecnologia e seu potencial de influenciar decisivamente no futuro da humanidade, se reside na vasta área de aplicações possíveis, tais como: aumentar a capacidade de armazenamento e processamento de dados dos computadores, criar novos mecanismos para a produção de medicamentos, criar materiais mais leves, baratos e mais resistentes, economia de energia, proteção ao meio ambiente, menor uso de matérias primas escassas.

A nanotecnologia apresenta seus principais campos de aplicação, estes vêm ganhando destaque mundialmente, sendo eles: nanoeletrônica, nanobiotecnologia e nanomateriais.

Estes campos se apresentam como base de sustentação para o desenvolvimento da nanotecnologia.

Nanoeletrônica

No ano de 1965, o norte americano *Gordon Moore*, co-fundador da empresa norte-americana Intel, previu a capacidade de integração na eletrônica ou seja, colocar vários componentes eletrônicos em uma determinada área, duplicando a cada ano.

A relação empírica sobre capacidade de integração na eletrônica, conhecida como lei de *Moore*, perderá de seu sentido, pois o processo de miniaturização na eletrônica á base de silício (elemento químico de maior uso na fabricação de processadores e chips), poderá chegar ao limite em um período de 10 a 15 anos, podendo ser interrompido por problemas que surgem quando se trabalha com a matéria sólida em dimensões atômicas e moleculares. Contudo o processo pode perder seu sentido, mas a evolução não será suspensa, a nanotecnologia molecular, que atua no processo contrário a miniaturização, os nanosistemas e dispositivos passarão a ser montados a partir de átomos e moléculas.

Segundo Fortunato (2005), o objetivo na nanoeletrônica é prosseguir o desenvolvimento em microeletrônica de ultra-alta compactação e miniaturização, especialmente para as tecnologias de informação e computação, mas a escalas significativamente mais pequenas, permitindo a manipulação de quantidades de informação extremamente grandes associadas a rápidas velocidades de processamento. Para Pacheco et. al (2005), a nanoeletrônica deverá lidar eficazmente e de forma viável economicamente com a integridade dos sinais e com os problemas de aquecimento criados por transistores construídos em alta densidade.

A nanotecnologia apresenta-se como uma estratégia para a eletrônica, continuar ativamente no mercado, se baseando em uma tecnologia capaz de oferecer economia, melhor qualidade, aumento na velocidade e quantidade de informações.

Nanobiotecnologia

A nanobiotecnologia refere-se a aplicação da nanotecnologia na ciência da vida. A mesma é resultado da combinação de pesquisas nas áreas da nanotecnologia com a biomedicina.

De acordo com Fortunato (2005), o objetivo da nanobiotecnologia é combinar a engenharia à nanoescala com a biologia para manipular sistemas vivos ou construir

materiais biologicamente inspirados a nível molecular. Promover novos bionanosensores para apoiar a investigação à escala molecular e implementar novas técnicas de diagnóstico.

Para Duran e De Azevedo (2004), as ciências físicas são responsáveis por oferecerem ferramentas pra síntese e fabricação de equipamentos para medir as características de células e componentes sub celulares e de materiais úteis em biologia celular e molecular, a biologia por sua vez oferece a janela nas mais sofisticadas estruturas que já existem (movimento: flagelos; informação: DNA; catalise: enzimas; isolantes elétricos: mielina; reconhecimento molecular; anticorpos, etc). contudo cabe a nanotecnologia, prover meios para diagnósticos prematuros e melhorar o diagnóstico de doenças, levando a melhores tratamentos, além de se mostrar como uma tecnologia promissora com objetivo em aumentar a eficiência do processo de desenvolvimento de fármacos.

Nanomateriais

Através de um controle da microestrutura em escala nanométrica, surgem os nanomateriais que aparecem como um novo tipo de material, que apresenta novas e distintas propriedades, processabilidades e capacidades. A função destes nanomateriais segundo Fortunato (2005), é controlar com precisão a morfologia à dimensão nanométrica das substâncias ou partículas para produzir materiais nanoestruturados. Ao envolver todos estes domínios que se sobrepõem, os instrumentos medem e manipulam estruturas ultrapequenas, como sejam por exemplo os microscópios de resolução à escala nanométrica.

As aplicações dos nanomateriais são imensas podendo ser empregadas na construção de nanotubos, biosensores, nanocápsulas, entre outros.

Os nanomateriais provocarão uma revolução na indústria, por apresentarem materiais com capacidades distintas, dos utilizados atualmente.

■ Conclusão

O que no princípio parecia ficção, hoje é realidade, o homem já é capaz de manipular os átomos, visando a obtenção de novas e complexas estruturas. A nanotecnologia, um dos grandes e mais promissores ramos da ciência, já se encontra presente no dia-a-dia.

Suas aplicações encontram-se presentes em diversos setores, porém as áreas de maior destaque atualmente é a nanoeletrônica, nanobiotecnologia e nanomateriais. O caráter interdisciplinar e multidisciplinar garante a nanotecnologia ser uma tecnologia plenamente inovadora, trazendo benefícios imagináveis a todas as áreas do conhecimento humano. Cabe ao homem adaptar-se a esta inovadora tecnologia.

■ Referências Bibliográficas

- BORSCHIVER, Susana et.al. *Patenteamento em nanotecnologia: estudo do setor de materiais poliméricos nanoestruturados*. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro vol.15, nº4, pág. 245, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v15n4/a07v15n4.pdf>. Acesso em: abril de 2006.
- BRUM, José A. *A pesquisa em nanociência e nanotecnologia no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron*. Com Ciência, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano18.htm>. Acesso em: janeiro de 2006.
- CAPOZZOLI, Ulisses. *A ciência do pequeno em busca da maioridade*. Scientific American Brasil, Brasil, ed. nº 1, junho de 2002. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/conteudo/materia/materia_1.html. Acesso em maio de 2005.
- DA SILVA, Gilberto A. *A tecnologia do futuro*. Jornal da Ciência- Órgão da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, São Paulo, agosto de 2005. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=31018>. Acesso em: maio de 2006.
- DURÁN, Nelson; DE AZEVEDO, Marcelo M. M. *O que é nanobiotecnologia? Atualidades e perspectivas*. Instituto de Química, Laboratório de Química Biológica, Unicamp, Campinas, 2004. Disponível em: http://www.ifi.unicamp.br/extensao/arq_down/nanobiotecnologia.doc. Acesso em: maio de 2006.
- DURÁN, N.; MATTOSO, Luiz H. C.; DE MORAIS, Paulo C. *Nanotecnologia introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação*. São Paulo: Artilier, 2006, pág 17-19.
- FAGAN, Solange B. *A arte de montar matéria, átomo por átomo*. Ceará, 2004. Disponível em: <http://www.fisica.ufc.br/solange/nanotech.html>. Acesso em: abril de 2006.
- FORTUNATO, Elvira. *As metas da nanotecnologia: aplicações e implicações*. Centro de Investigação de Materiais, Departamento de Ciências dos Materiais, Universidade Nova de Lisboa -FCT, 2005. Disponível em: http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/867F4EEB-A73F-4966-AA78-051E912C2D65/0/PNIinovacao_Nanotecnologia.pdf. Acesso em: abril de 2006.
- GOUVÊA, Raul. *Nanotecnologia uma realidade brasileira? Negócios e empresas*, dezembro de 2004. Disponível em: <http://noticias.aol.com.br/negocios/industria/2004/12/0002.adp>. Acesso em: outubro de 2005.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT), *Desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia*. Proposta do grupo de trabalho criado pela portaria MCT nº 252, como subsídio ao programa de nanociência e nanotecnologia do PPA 2004-2007. Brasília, 2004. Disponível em: <http://mct.gov.br/UserFiles/Documento%20GT.pdf>. Acesso em: dezembro de 2005.
- PACHECO, Marco A. C. et.al. *Uma introdução a nanotecnologia*. ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.ica.ele.puc.rio/cursos/download/nanotecnologia-site.pdf>. Acesso em agosto de 2005.
- SANT'ANNA, José P. *Nanotecnologia minúsculas partículas, grandes negócios*. Química e Derivados, ed. 443, São Paulo, dezembro de 2005. Disponível em: <http://www.quimica.com.br/revista/qd443/nanotecnologia1.html>. Acesso em: abril de 2006.
- TOMA, Henrique E.; ARAKI, Koiti. *Nanociência e nanotecnologia: o gigantesco e promissor mundo do muito pequeno*. Ciência Hoje, São Paulo, vol. 37, nº 217, pág. 25, junho de 2005. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/3440>. Acesso em: março de 2006.