



NANOCIÊNCIA: APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS EM QUÍMICA, SAÚDE, AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE: UMA SINOPSE.

NANOSCIENCE: TECHNOLOGICAL APPLICATIONS IN CHEMISTRY, HEALTH, AGRICULTURE AND ENVIRONMENT: AN OVERVIEW.

Vagner Sargentelli¹

RESUMO: A nanociência e a nanotecnologia são ramos científicos cujos resultados já podem ser vistos em diversas aplicações em química, saúde, agricultura e meio ambiente. O escopo deste artigo é o de apresentar uma sinopse sobre essas importantes áreas da ciência.

Palavras-chave: Nanociência, nanotecnologia, Aplicações tecnológicas.

ABSTRACT: The nanoscience and nanotechnology are scientific branches whose results can already be seen in various applications in chemistry, health, agriculture and environment. The scope of this article is to present a synopsis of these important areas of science.

Keywords: Nanoscience, Nanotechnology, Technology applications.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical (CPST), Caixa Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM. souza_santos_cristiane@hotmail.com.



NANOCIÊNCIA NANOTECNOLOGIA: SINOPSE.

O conceito de nanotecnologia surgiu quando o físico norte-americano Richard Philips Feynman, em sua conferência proferida em 1959 no Instituto de Tecnologia da Califórnia – EUA propôs que os materiais pudessem ser obtidos e trabalhados em escala atômica. Mais tarde, nos anos de 1980, a construção de microscópios de alta resolução permitiu que a ciência, especialmente a química, pudesse desenvolver trabalhos na área da nanociência e, já na última década do século passado e a do início deste, diversos progressos foram realizados. Nesse sentido, nanotecnologias em eletrônica, informática, fármacos, cosméticos, agroquímica, entre outros, vem sendo, desde então, disponibilizados. As vantagens e o impacto ao meio ambiente, bem como o uso adequado de nanomateriais e, concomitantemente, legislações a respeito são temas atuais em diversos países, inclusive o Brasil. Considerando – se a importância desse tópico para a atualidade, há disponível uma literatura científica diversa, contudo, os melhores tratados são de alto custo. Além disso, sites que tratam do assunto nem sempre o apresentam de forma adequada. Nesse sentido, o escopo do presente artigo é o de apresentar, sumariamente, os principais avanços e as perspectivas dessa área da ciência. Assim, não é nossa pretensão apresentar aqui uma ampla abordagem a respeito de nanociência, tendo em vista o significativo número de textos científicos que vêm sendo publicados. Entretanto, nos parágrafos seguintes um resumo é apresentado que visa mostrar as diversas possibilidades de aplicação da nanociência em química, saúde, agricultura e meio ambiente.

Nanotecnologia é a compreensão e o controle da matéria de dimensões de aproximadamente 1 a 100 nm, onde

fenômenos originais permitem novas aplicações. As propriedades físicas e químicas dos nanomateriais são marcadamente dependentes dos seus tamanhos e formas (ou morfologias). Um importante aspecto dos nanomateriais é que quanto menor o tamanho da partícula, maior a área de superfície. Em nanoescala, propriedades como condutividade elétrica e força mecânica não são as mesmas do que as apresentadas pelos materiais contendo partículas com dimensões muito superiores do que 100 nm, ou, seja, na forma estendida. As propriedades eletrônicas também mudam drasticamente (Sargentelli, in press). Alguns termos e definições associados à nanotecnologia são, (Mueller et al., 2011):

- Nanomaterial: material com qualquer dimensão externa na nanoescala ou que apresente estrutura interna ou de superfície na nanoescala.

- Nanoestrutura: composição de partes constituintes inter – relacionadas na região da nanoescala.

- Material nanoestruturado: àquele que apresenta estrutura interna ou de superfície nanoestruturadas.

- Nanoobjetos: àquele que apresenta qualquer dimensão na região da nanoescala.

São várias as metodologias preparativas em nanotecnologia e muito tem se investigado sobre estratégias sintéticas que estabeleçam métodos eficazes e reprodutíveis que permitam o controle do tamanho e da morfologia dos nanocompostos. Esta é uma área de intenso estudo na atualidade. Simplificadamente menciona-se que nanopartículas metálicas podem ser obtidas em solução líquida através do uso de agentes redutores e de agentes complexantes e/ou estabilizantes e, podem também, ser preparadas a partir da termod decomposição de compostos organometálicos (Sargentelli, 2010;



Sargentelli et al., 2011). A utilização de complexantes e/ou estabilizantes visa evitar a formação de aglomerados de partículas. De modo análogo, os óxidos em escala nanométrica são obtidos de solução líquida, por meio da termodecomposição de compostos orgânicos ou através da deposição a partir do estado gasoso, controlando a temperatura e a pressão do sistema reacional (Maruyama, 1998; Sun, 2008, Premkumar, 2006).

Considerando a caracterização dos nanocompostos, um fato relevante é que, na ordem de grandeza de nanômetros, que são menores do que o comprimento de onda da luz visível (400 – 700 nm), os materiais não podem ser estudados apenas por técnicas convencionais, sendo necessário o emprego de microscópios de alta resolução, como o de tunelamento, desenvolvido no final da década de 1980, que teve como pioneiros Heinrich Rohrer e Gerd Binnig, do laboratório da IBM, Suíça e que permitiram o avanço dos estudos em escala nanométrica (Toma, 2005; Silva, 2002).

Após uma breve apresentação do conceito, metodologias preparativas e de caracterização em nanociência, menciona-se nos parágrafos seguintes algumas aplicações que vêm sendo delineadas.

No mundo macroscópico, os materiais apresentam normalmente características típicas de sistemas tridimensionais. À medida que reduzimos uma das dimensões físicas, chegamos aos filmes finos (bidimensionais), que passam a exibir novas propriedades decorrentes da escala nanométrica. Ao reduzir em duas das três dimensões, encontram-se os fios nanométricos. Por exemplo, já se consegue produzir nanofios de semicondutores, como GaN, CdSe e CdS que, associados a nanofios de silício dopado com boro, estão possibilitando a obtenção de telas de alta resolução e qualidade. Já ao se trabalhar na

redução de três dimensões podem ser obtidos materiais com pontos quânticos (quantum dots). Nesses materiais, os níveis eletrônicos estão desdobrados de tal forma que são possíveis transições eletrônicas na região do visível e, desse modo, materiais com essa característica podem ser utilizados como sensores químicos e biológicos (Toma, 2005).

O estudo de nanopartículas magnéticas vem permitindo avanços significativos na informação atual sobre esses materiais e nas tecnologias biológicas, as quais incluem o armazenamento de informações, sensores magnéticos, bio-separadores e desenvolvimento de novos medicamentos. As nanopartículas magnéticas oferecem várias possibilidades de aplicação em biomedicina. Isto porque esses materiais apresentam tamanho na extensão de alguns a dezenas de nanômetros, os quais são menores ou comparáveis ao tamanho de uma célula (10 – 100 μm), de um vírus (20 – 450 nm), de uma proteína (5 – 50 nm) ou de um gene (2 nm de largura e 10 – 100 nm de comprimento). Isto significa que as nanopartículas podem ser empregadas como uma entidade biológica. Esses materiais podem ser revestidos com moléculas biológicas para fazer com que os mesmos interajam com outras substâncias e, desse modo, fornecendo um meio controlável de endereçamento dessas espécies no organismo. Além disso, os materiais nanoestruturados são magnéticos, o que significa que os mesmos seguem as leis de Coulomb e podem, portanto, serem manipulados por um campo magnético externo. Também, as nanopartículas magnéticas podem responder a uma variação magnética em função do tempo, o que conduz a um efeito de transferência de energia do campo magnético excitante para as nanopartículas. Assim, as nanoestruturas podem sofrer aquecimento, o que propicia o seu uso como agentes epitérmicos ou como



agentes quimioterápicos e radioterápicos, conduzindo a uma destruição das células malignas. Outro aspecto é o de associar marcadores fluorescentes às nanopartículas magnéticas fornecendo um material que possa ser utilizado em diagnóstico de imagem por ressonância magnética (Sargentelli, 2010; Souza et al., 2011).

Dentro das possibilidades de utilização das nanopartículas magnéticas também está incluída àquela que se refere aos alimentos. Isto porque um dos maiores problemas associados aos gêneros alimentícios está o da presença de microorganismos patogênicos, que podem causar intoxicações alimentares graves. Para a detecção de, por exemplo, *Escherichia coli*, o microorganismo precisa ser isolado. Uma técnica conhecida como separação imunomagnética é utilizada para esta finalidade (ou seja, a de bio-separador) e utiliza nanopartículas magnéticas funcionalizadas com anticorpo específico, associando a separação com a identificação do microorganismo. Partículas magnéticas em nanoescala são extremamente importantes porque possuem uma alta relação superfície-volume que permite uma eficiente separação do microorganismo em grande escala (Duncan, 2011).

Ainda referindo-se aos alimentos, outra aplicação, dentre várias, é a de utilização de nanopartículas que inviabilizem a proliferação de microorganismos nos produtos industriais, especialmente em embalagens dos alimentos, o que possibilita o aumento do tempo de prateleira e, conseqüentemente, reduz custos. Com esta finalidade, nanopartículas de prata incorporadas em polímeros vêm recebendo especial atenção dos pesquisadores em decorrência das propriedades antimicrobianas há muito conhecidas deste metal de transição. Outras substâncias inorgânicas com propriedades antimicrobianas também vêm sendo

estudadas para esta finalidade, entre as quais: TiO_2 , CuO , MgO , cobre, ZnO . Outra preocupação envolvendo gêneros alimentícios é o da degradação dos produtos em decorrência de conservação inadequada e que nem sempre é detectável pelos consumidores com referência apenas na data de validade. Nesse sentido, e como anteriormente mencionado, a utilização de nanopartículas que funcionam como sensores (nanosensores) tanto para microorganismos patogênicos quanto para substâncias orgânicas contaminantes e tóxicas, com base em mudança de coloração, estão sendo estudadas (Duncan, 2011).

Na cosmetologia, a maximização das propriedades das mais diversas substâncias através da nanociência é tema de muitos trabalhos científicos. No que se refere às substâncias utilizadas na formulação de cosméticos, as mesmas podem ser divididas nas seguintes classes com as respectivas aplicações e, entre parênteses, exemplos: (Mihryan, 2011):

- nanopartículas de substâncias ativas, não-metálicas.
- Aparência (arbutina).
- nanopartículas metálicas e seus compostos, incluindo óxidos.
- antimicrobiana (prata).
- aparência (ouro).
- saúde bucal (nanopartículas de TiO_2 /C).
- desodorizante (ouro, óxidos ou hidróxidos de zinco e magnésio).
- pele (nanopartículas de Ce).
- cabelo (alumina e titania).
- proteção UV (TiO_2 , ZnO).
- nanopartículas de carbono.
- pele (fureleno).
- cabelo (fureleno).
- proteção UV (nanopartículas de



diamante).

- nanoargila e materiais sintéticos a base de sílica mesoporosa.

- antimicrobiana (argila).

- aparência (argila).

- saúde bucal (compostos de flúor encapsulados em nanopartículas de sílica).

- cabelo (nanopartículas de sílica funcionalizada com compostos orgânicos).

- pele (dispersão lisossômica dispersa em nanopartículas de SiO₂).

- lipídeos sólidos nanoestruturados.

- Desodorante (fragrâncias incorporadas às nanopartículas lipídicas).

- cabelo (lipídios sólidos nanoestruturados utilizados como carregadores).

- pele (vitamina A, E ou coenzimas incorporadas em lipídeos sólidos

- nanoestruturados).

- proteção UV (substâncias ativas incorporadas em matriz lipídica nanoestruturada).

- nanocarregadores poliméricos naturais e modificados.

- antimicrobiana (nanopartículas incorporadas em polímeros naturais).

- desodorante (quitosana).

- cabelo (nanopartículas de quitosana).

- pele (nanopartículas de quitosana).

- polímeros sintéticos e nanocarregadores dendrímeros.

- saúde bucal (princípios ativos incorporados em dendrímeros).

- desodorante (poliestireno contendo fragrâncias).

- cabelo (queratina).

- pele (nanopartículas de ácido glutâmico contendo α – tocoferol).

- proteção UV (polímeros carregadores de substâncias orgânicas ativas ao UV).

Os argumentos atuais dos especialistas em demografia são de que a população mundial ultrapassará os 8,5 bilhões já na terceira década do presente século. Disto decorrem sérias constatações, como por exemplo, a produção de alimentos e o impacto da atividade desse contingente populacional para a natureza.

A produção de alimentos pode ser dividida em produtos de origem vegetal e de origem animal. Com relação aos de plantas, menciona-se que o aumento de produtividade requer maior número de grãos na mesma área plantada. São diversos os fatores que afetam a produtividade agrícola, entre os quais podem ser citados: solo agricultável, condições climáticas (temperatura, sazonalidade das chuvas etc.) e fitopatologias. A complexidade dos fatores, incluindo a química do solo, geoquímica, bioquímica e biologia, associados aos sistemas naturais, estão fora do escopo do presente trabalho. Entretanto, a implicação da nanociência e da nanotecnologia na produção agrícola é tema corrente na literatura científica, embora, de um modo geral, ainda são poucos os exemplos de produtos nanotecnológicos diretamente aplicados na agricultura. O que se debate é que fertilizantes, herbicidas, pesticidas e controladores do crescimento das plantas possam ser produzidos em nanoescala, procurando maximizar a interação entre os produtos nanoestruturados com as matérias disponíveis no solo e absorvidas pelas plantas. Os estudos em nanociência podem conduzir a um melhor entendimento sobre os mecanismos patogênicos que afetam a saúde dos vegetais, conduzindo para eficientes estratégias de controle de fitopatologias. Já a produção de alimentos de origem animal é afetada por fatores tais como: produtividade, nutrição e enfermidades. Dentro desse



aspecto, a nanotecnologia aplicada à produção de vacinas e medicamentos pode contribuir para um eficiente tratamento ou prevenção de doenças, minimizando as perdas de produção (Chen, 2011).

A preocupação ambiental é assunto muito difundido na atualidade. Não há dúvidas que o uso de recursos naturais de modo sustentável é de crucial importância para a sobrevivência da espécie humana no planeta, evitando-se, inclusive, a poluição de solos, águas naturais e da atmosfera. A literatura a esse respeito é ampla. No que se refere à nanotecnologia, a utilização de nanopartículas com propriedades antimicrobianas, tais como a prata (como anteriormente citado), vem sendo empregada para a purificação de água, especialmente em locais onde não há muitos recursos. A disponibilidade de água potável é outro assunto preocupante em algumas regiões e a despeito do alto custo energético necessário para destilações ou osmose reversa, nanotubos de carbono vem sendo empregados com eficiência na dessalinização da água e a menor custo. A funcionalização de moléculas específicas a cátions metálicos sobre superfícies nanoestruturadas oferece um eficiente meio de despoluição de águas contaminadas com metais tóxicos (Chen, 2011). Apesar disso, é crescente o número de trabalhos científicos centrados na, assim denominada, nanotoxicologia, para a qual a definição de nanopartículas com dimensão de 1 a 100 nm não é suficiente para avaliar os riscos dos nanomateriais. Na opinião de especialistas nesse assunto, a interação das nanopartículas com os sistemas biológicos também são dependentes da composição química e morfologia das mesmas. Isto dificulta a regulação para a produção e utilização de nanomateriais (Santos, 2012).

Para finalizar este breve relato sobre as aplicações da nanotecnologia, menciona-se a área de produção de energia. Nesse sentido,

há uma tendência por células a combustível e também por sistemas que mimetizem a fotossíntese natural. Ancoragem de fotossistemas em materiais nanoparticulados e em células fotoquímicas híbridas tem se mostrado promissora para esse propósito (Ciesielski, 2010). Constata-se dos parágrafos precedentes que a nanotecnologia já faz parte do cotidiano. Apesar de o conceito ser conhecido e estar em desenvolvimento já há alguns anos, e de vários materiais disponíveis, as dificuldades experimentais de se obter materiais nanoparticulados com morfologia e estrutura controlados, que sejam reprodutíveis e em escala industrial ainda são um desafio a ser vencidos em diversas situações, no que muitos cientistas ao redor do mundo estão empenhados.

BIBLIOGRAFIA

- CHEN, H.; YADA, R. **Nanotechnologies in agriculture: new tools for sustainable development.** Trends in Food Science & Technology, v. 22, 585-594, 2011.
- CIESIELSKI, P. N.; HIJAZI, F. M.; SCOTT, A. M.; FAULKNER, C. J.; BEARD, L.; EMMETT, K.; ROSENTHAL, S. J.; CLIFFEL, D.; JENNINGS, G. K. **Photosystem I –Based biohybrid photoelectrochemical cells.** Bioresource Technology, V. 101, p. 3047–3053, 2010.
- DUNCAN, V. T. **Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors.** Journal of Colloid and Interface Science, V. 363, p. 1–24, 2011.
- MARUYAMA, T. **Copper oxide thin films prepared by chemical vapor deposition from copper dipivaloylmethanate.** Solar Energy Materials & Solar Cells, V. 56, p. 85-92, 1998.
- MIHRANYAN, A.; FERRAZ, N.; STROMNE, M. **Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics.** Progress in Materials Science, 2011 in press.
- MUELLER, N. C.; BRUGGEN, B. V.; KEUTER, V.; LUIS, P.; MELIN, T.; PRONK,



W.; REISEWITZ, R.; RICKERBY, D.; RIOS, G. M.; WENNEKES, W.; NOWACK, B.

Nanofiltration and nanostructured membranes—Should they be considered nanotechnology or not? Journal of Hazardous Materials, 2011, in press.

PREMKUMAR, T.; GECKLER, K. E. **A green approach to fabricate CuO nanoparticles.**

Journal of Physics and Chemistry of Solids, v. 67, p. 1451–1456, 2006.

SANTOS, C. A. **Como medir, afinal, os riscos da vida nanométrica?** Ciência Hoje on line.

Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br>. Acesso em 06/12/2012.

SARGENTELLI, V.; FERREIRA, A. A. P.

Nanopartículas magnéticas: O cobalto.

Eclética Química, v. 35, n. 4, p. 153 – 163, 2010.

SARGENTELLI, V. **Nanopartículas**

Magnéticas: Co@SiO₂ e Co@Pt. Eclética Química, in press.

SARGENTELLI, V.; FERREIRA, A. A. P.;

RIBEIRO, S. J. L. **Síntese e caracterização de partículas de Co/Au.** 34a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Florianópolis, INO 180, 2011.

SILVA, C. G. **Nanociência & Nanotecnologia.**

O que é nanotecnologia? 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nanotecnologia/nano10.htm>. Acesso em 04/11/2011.

SOUZA, K. C.; MOHALLEM, N. D. S.;

SOUSA, E. M. D. **Nanocompósitos**

magnéticos: Potencialidades de aplicações em Biomedicina. Química Nova, v. 34, n. 10, p. 1692-1703, 2011.

SUN, X.; ZHENG, C.; ZHANG, F.; LI, L.;

YANG, Y.; WU, G.; GUAN, N. **Cyclodextrin-Assisted Synthesis of Superparamagnetic Magnetite Nanoparticles from a Single Fe(III) Precursor.** Journal Physical Chemistry C, v. 112, 17148-17155, 2008.

TOMA, E. **A nanotecnologia das moléculas.**

Química Nova na Escola, no. 21, p. 3 – 9, 2005.