

NANOTECNOLOGIA: NOVAS QUESTÕES E DESAFIOS PARA A MELHORIA DE VELHOS MATERIAIS ¹

Guilherme Frederico Bernardo Lenz e Silva ²
William (Bill) Lee ³

Resumo

A nanotecnologia não é uma ciência nova, na verdade pode ser definida como um campo multidisciplinar de várias áreas da ciência, como a química coloidal, combustão, biologia molecular, entre outros. Vários produtos provenientes da incorporação de nanomateriais (<100 nm) datam de séculos atrás, como os vidros coloidais ou mesmo o pneu, que contém adições de negro de fumo como agente de reforço estrutural. Nos últimos 25 anos, importantes realizações tecnológicas, como as invenções dos microscópios de força atômica e de tunelamento, e as melhorias significativas dos microscópios de varredura (FEG/SEM – Field Emission Gun Scanning Electron Microscope) e de transmissão (HR/TEM – High Resolution Transmission Electron Microscopy), aliados às descobertas de novas formas alotrópicas do carbono como os fulerenos e suas variações (nanotubos de carbono), têm alavancado a pesquisa e a possibilidade de desenvolvimento de novos produtos contendo estruturas nanométricas nas indústrias petroquímica, têxtil, farmacêutica, metalúrgica e de materiais cerâmicos. Porém, o processamento, manuseio, estabilização e a incorporação de nanomateriais de forma segura, capaz de transferir para estes “novos produtos” características distintas e benéficas, esbarra em uma série de importantes questões relacionadas com os riscos à saúde e ao meio-ambiente, legislação, custo, reciclagem e processamento (manuseio e estabilização) dos nanomateriais. Este artigo abordará alguns dos importantes pontos relacionados com a utilização de nanomateriais no desenvolvimento de “velhos” produtos.

Palavras-chave: Nanotecnologia; Nanomateriais; Compósitos.

NANOTECHNOLOGY: NEW QUESTIONS AND CHALLENGERS FOR THE IMPROVEMENT OF OLD MATERIALS

Abstract

Nanotechnology is not a new science; in fact, it could be defined as a field of multidisciplinary areas of science, as colloidal chemistry, combustion, molecular biology, etc. Some nanotech materials (< 100 nm) have been developed for more than 100 years, like colloidal gold, ruby glass or tyres with carbon black reinforcement agent. In the last 25 years, important technological accomplishments, such as the invention of AFM and STM microscopes (atomic force and scanning tunnelling microscope) and several improvements on FEG/SEM (Field emission gun scanning electron microscope and HR/TEM high resolution electron microscopy and new discoveries of carbon allotropes (fullerenes and carbon nanotubes) has opened new fields of research and several opportunities of development of nanostructured material for chemical and petrochemical, electronic, pharmaceutical, metallurgical and ceramic material industries. However, a safely processing, handling, stabilization and functionalization of nanomaterials are important issues with distinctive relationships with the environment, legislation, cost, recycling, public perception, etc. This paper will analyse some important points about the use of nanomaterials on development of old materials.

Key words: Nanotechnology; Nanomaterials; Composites.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Pesquisador Senior, CPqD/Magnesita S/A – Engenheiro Metalurgista (UFMG), MBA (PECE/USP), Dr. Ing (POLI/USP), Post Doctoral Fellow (The University of Sheffield), Academic Visitor (Imperial College London); guilhermelenz@magnesita.com.br*

³ *Head of Department (Imperial College London), Professor, Chair in Materials. w.e.lee@imperial.ac.uk*

1 INTRODUÇÃO

A utilização de nanomateriais não é um fenômeno novo, de fato o emprego de nanoestruturas vem do tempo da alquimia, através da obtenção e utilização de ouro coloidal para modificação da cor de vidros (*ruby glass*, *stained glass*) utilizados em cálices e em vitrais de catedrais medievais.^[1,2] O marco inicial da nanotecnologia pode ser definido pelo discurso do físico americano Richard P. Feynman no final da década de 1950 proferido na Universidade da Califórnia - Caltech.^[3] Depois disso, o termo nanotecnologia foi cunhado pelo pesquisador japonês Norio Taniguchi em 1974. A publicação do livro: *Engines of Creation - The Coming Era of Nanotechnology* por A. Drexler,^[4] a descoberta da nova espécie alotrópica do carbono conhecida hoje como fulerenos por Kroto, Smalley, R. Curl e outros, finalmente, a invenção dos microscópicos de força atômica e tunelamento^[2,5] tornaram possível a visualização e a manipulação de estruturas em nível atômico, impulsionando a pesquisa pura e aplicada dos nanomateriais.

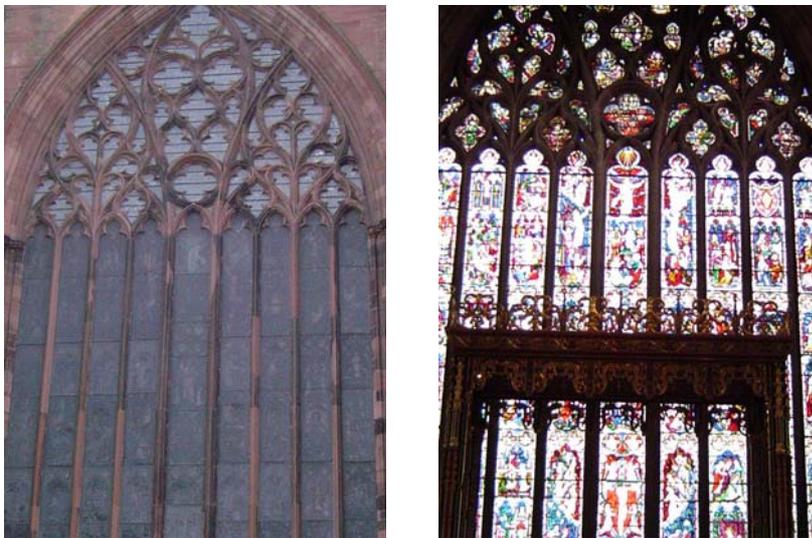
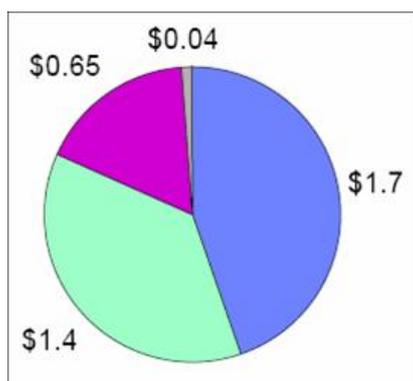


Figura 1 - Vista externa e interna dos vitrais da Catedral de Carlisle/UK, fundada em 1122 (DC). Os tons em vermelho dos vitrais são decorrente da adição de nanopartículas de ouro, prata e cobre ao vidro.

2 INVESTIMENTOS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

Os Estados Unidos dominam as pesquisas e desenvolvimentos nas áreas de nanomateriais, por meio da implementação da iniciativa nacional de nanotecnologia^[6] iniciada pelo então presidente Bill Clinton, com destinação anual de 700 milhões de dólares para projetos de nanotecnologia.^[7-10] Outros países/regiões com significativa atuação no campo da nanotecnologia são: o Japão, Europa (Comunidade Européia), os tigres asiáticos (Coréia do Sul, China, Singapura e Taiwan) e marginalmente Austrália, Índia, Israel e Rússia. No caso brasileiro, foram criadas 4 redes temáticas de nanotecnologia já no final da década de 1990. Mais recentemente, foi proposto pelo presidente Luiz Inácio Lula da Silva o Programa Nacional de Nanotecnologia (orçamento previsto de 71 milhões de reais).^[11] A Figura 2, apresentada a seguir, mostra o gasto cooperativo em P&D aplicado em nanotecnologia em diferentes regiões do mundo.



1,7 Bilhões de dólares - América do Norte;
 1,4 Bilhões de dólares - Ásia;
 650 Milhões de dólares - Europa;
 40 Milhões de dólares - Resto do mundo.

Figura 2 – Investimento corporativo em nanotecnologia, em US\$ dólares.^[7]

3 RISCOS TECNOLÓGICOS (SAÚDE, MEIO AMBIENTE E MEDICINA OCUPACIONAL)

A aplicação da nanotecnologia abriu a possibilidade de melhoria e desenvolvimento de novos produtos baseados nas características e propriedades intrínsecas das partículas com dimensões nanométricas, trazendo também a oportunidade de melhorias de velhos materiais como o aço e ligas, materiais refratários, nucleares, biomateriais, compósitos (carbono-carbono, compósitos de matriz metálica, etc.), polímeros entre outros.^[12,13] Contudo, a fabricação e o manuseio de nanopartículas trazem novos desafios, especialmente no que diz respeito à segurança e ao meio ambiente.

Um dos problemas que acompanham o desenvolvimento da nanotecnologia é o fato de as nanopartículas terem dimensões aproximadas do tamanho de células (hemoglobina ~ 7 nm) ou vírus (10 ~ 100 nm). Possibilitando interações ainda não completamente conhecidas entre os nanomateriais e os organismos vivos e, entre os processos celulares em escala quase atômica.

Outro ponto importante decorrente das propriedades dos nanomateriais, como pequeno diâmetro das partículas, elevada área superficial e elevada pureza é a alta taxa de assimilação e cinética das reações (físico-químicas e/ou biológicas) que podem possibilitar interações com os organismos vivos podendo trazer modificações na estrutura do DNA, hipertoxidade, estresse celular, reações catalizadas por metais de transição, geração de radicais livres, etc.

O que pode ser considerado consenso no meio científico é que as propriedades dos nanomateriais podem ser completamente distintas quando analisados na forma de um sólido (*bulk*) ou na forma de nanopartículas.^[14-16] Até o momento, as informações ainda são poucas, em alguns casos contraditórias e, em outros, desatualizadas ou mesmo errôneas.

Neste ponto, uma atitude pró-ativa objetivando a saúde ocupacional e o meio ambiente em geral deve ser adotada pela indústria, visando desta forma mitigar, prevenir impactos ambientais e a exposição de funcionários às nanopartículas. A adoção de ferramentas como análise de risco, conjuntamente com procedimentos dos sistemas de gestão de qualidade, saúde e meio ambiente devem ser avaliados e implementados. Adequações em instalações de pesquisa e unidades fabris são necessárias para garantir um manuseio seguro destes materiais propiciando assim, o efeito esperado na melhoria das propriedades dos produtos desenvolvidos. Não se pode esquecer que várias “novas” tecnologias e “compostos milagrosos” revelaram-se um desastre para a sociedade, com graves danos ao meio ambiente em geral. A Tabela 1, apresenta um breve resumo das relações entre acidentes e suas conseqüências ao meio ambiente e à sociedade. Finalmente, algumas considerações e sugestões preparadas pela The Royal Society em parceria com a Royal Academy of Engineering /UK são úteis e devem ser consideradas.^[17,18]

Tabela 1 – Relação de algumas “novas” tecnologias e desenvolvimento que ao longo do tempo, apresentaram problemas relacionados com o meio ambiente, saúde ocupacional e graves acidentes.

Tecnologia / compostos	Problemas e acidentes	Algumas conseqüências e riscos
Indústria nuclear:	<ul style="list-style-type: none"> - Acidente de Three Mile Island /USA, - Chernobyl/Ucrânia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Perda de suporte de parte da sociedade ao desenvolvimento e instalação de usinas nucleares, - Pressão por meio dos partidos políticos e ONG's (Organizações Não Governamentais) sobre os riscos e futuro da energia nuclear.
Indústria mineral: - Quartzo/silica - Amianto (asbestos)	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas associados a incapacitação de funcionários decorrente do comprometimento das vias respiratórias (fibrose pulmonar e asbestosis). 	<ul style="list-style-type: none"> - Banimento da utilização de amianto como isolante, - Dispêndio para a remoção de sistemas de isolamento, - Aumento da pressão e fiscalização para uso adequado de sistemas de proteção aos trabalhadores.
Indústria química e farmacêutica: - CFC's (cloro-flúor-carbonetos) - Benzeno - DDT (dicloro difenil dicloroetano) - Talidomina - CO ₂ (dióxido de carbono)	<ul style="list-style-type: none"> - Destruição da camada de ozônio, - Riscos à saúde ocupacional e disfunções sanguíneas, - Poluição ambiental, - Má formação genética, - Aquecimento global. 	<ul style="list-style-type: none"> - Banição, - Controle do uso/aplicação, - Pressões da sociedade para sua diminuição.
Biotecnologia: - GGM (Grãos e alimentos geneticamente modificados)	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa percepção do público aos reais benefícios da utilização de GGM. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de campanhas contra o uso de GGM, - Pressões por novas e mais extensas legislações, - Criação de selos/certificações anti-GGM (tipo: 'GM Free').
Nanotecnologia:	<ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de acesso e difusão tecnológica, - Incertezas e falta de estudos finalizados quanto ao risco de nanopartículas no meio ambiente (intoxicações, doenças, LCA, segurança ocupacional, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - Poluição, - Acidentes, - Aumento do “gap” de desenvolvimento tecnológico entre nações desenvolvidas e sub-desenvolvidas, - Campanhas anti-nanotecnologia (tipo: 'No-Nano').

4 POTENCIAIS DE APLICAÇÕES DE NANOMATERIAIS NA INDÚSTRIA DE MATERIAIS

Os estudos e cenários, tanto do ponto de vista de desenvolvimento tecnológico como de impacto da nanotecnologia em novos produtos, indicam que num primeiro momento, as áreas prioritárias para comercialização de nanomateriais serão:

- Catálise;
- Processos de separação (absorventes e membranas);
- *Coatings*;
- Materiais de elevado desempenho (elevada resistência, baixo peso, materiais com propriedades térmicas e elétricas controladas);
- Meios de conversão e estocagem de energia (novas baterias de elevada capacidade);
- Medicamentos e fármacos;
- Sensores (biológicos, químicos e ambientais);
- Dispositivos óticos e eletrônicos.

A Figura 3 apresenta um cenário da evolução tecnológica ao longo do tempo (próximos 10 anos) para tecnologias baseadas em nanomateriais (coatings e filmes finos).^[19]

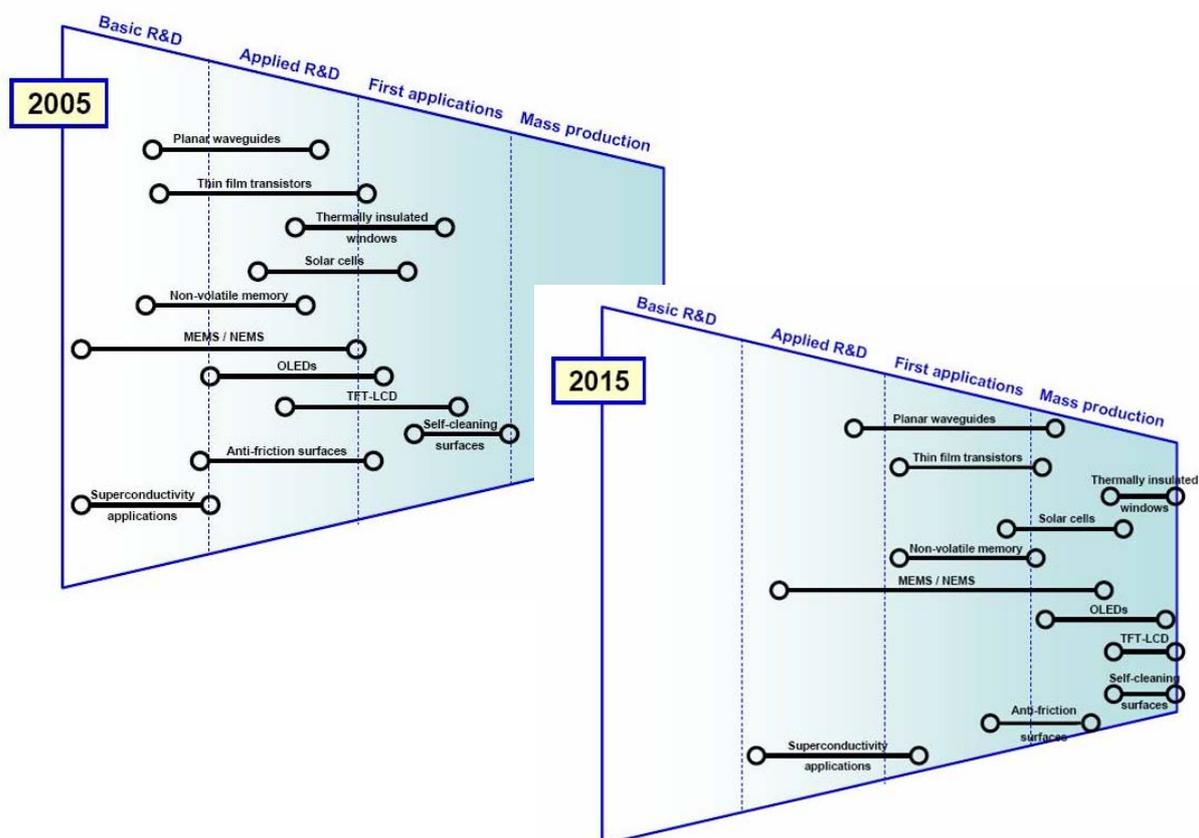


Figura 3 – Cenário para a evolução de nanotecnologias para sistemas de cobertura/proteção superficial e filmes finos (período: 2005 - 2015).

As potencialidades de aplicações de nanomateriais têm aumentado a cada dia, uma vez que a nanotecnologia não caminha de forma solitária e sim, alavancando desenvolvimentos em distintos campos da ciência.^[6,13,20] Pode-se então dividir didaticamente, o horizonte de aplicação da nanotecnologia em 3 classes distintas.

- **Nanotecnologia incremental:** Está focada em materiais que têm novas ou superiores propriedades como um resultado de sua estrutura controlada em nível nanométrico. Muitos desenvolvimentos em nanotecnologia incremental são essencialmente uma continuação de pesquisas desenvolvidas nos últimos 50 anos em química coloidal e em ciência dos materiais.

- **Nanotecnologia evolucionária:** Está focada menos em simples materiais e mais em dispositivos funcionais. Na maioria dos casos, envolvendo a diminuição e mudanças dimensionais em direção da nanoescala. Tipicamente, existem vários exemplos em curso, envolvendo o desenvolvimento em semicondutores e dispositivos de memória/armazenamento de dados.

- **Nanotecnologia radical:** Neste caso, o desenvolvimento está focado em dispositivos com capacidades funcionais especiais (auto-organizantes, motores moleculares, nano-máquinas, etc.). Potenciais nano-produtos deste campo serão baseados em bio-nanotecnologia, devendo ocorrer em um horizonte de tempo mais prolongado (> 10 anos). Desta forma, as novas e as futuras aplicações, bem como as projeções do desenvolvimento da nanotecnologia devem ser cuidadosamente avaliadas e acompanhadas pela sociedade; não só em decorrência de melhorias em produtos mas também, pela nova possibilidade e oportunidade de criação de tecnologias que podem revolucionar ou mesmo romper o padrão de desenvolvimento clássico, tornando alguns produtos e processos rapidamente obsoletos.

5 PRINCIPAIS PROBLEMAS ASSOCIADOS COM A UTILIZAÇÃO/MANUSEIO DE NANOMATERIAIS EM ESCALA FABRIL E EM P&D

Além das questões de segurança e saúde ocupacionais já levantadas, alguns pontos são relevantes para a obtenção de melhores resultados com a utilização de nanopartículas. Destacando-se entre eles:

a) Produção e aumento de escala: existem atualmente vários métodos e processos para a produção de materiais em escala nanométrica, indo desde a moagem de alta intensidade, sol-gel, química coloidal, SHS (*Self Propagating High Temperature Synthesis*), processos hidrotérmicos, micro-ondas, ultrassom, sínteses via plasma, passando por deposição química/física via vapor (CVD – *Chemical Vapour Deposition* e PVD – *Physical Vapour Deposition*), além de processos de combustão e pirólise. Em sua grande parte, as técnicas de produção possuem flexibilidade restrita, não sendo capazes de serem utilizadas para a produção de vários tipos distintos de materiais/compostos, ou possuem restrições tecnológicas para seu aumento de escala de produção. Exceções são os métodos de CVD, PVD e plasma/combustão.

b) Dispersão: (no estado sólido ou em meio líquido, aquoso ou não): novos sistemas e dispositivos de alta intensidade e energia (sistema ultrasônicos e de elevado cisalhamento mecânico) têm sido utilizados para a completa dispersão de nanopartículas. A correta dispersão é essencial para a integração dos nanomateriais.

c) Estabilização: em função da elevada área (energia) superficial as nanopartículas tendem naturalmente a difundirem e se aglomerarem. Neste caso, a utilização e o estudo do comportamento das nanopartículas nos vários sistemas (aquoso ou não aquoso) ainda precisam ser realizados. A cada dia novos dispersantes têm sido desenvolvidos para aplicações específicas, buscando controlar as forças atrativas e fenômenos estéreoestáticos.

d) Funcionalização/integração: os processos de funcionalização estão constantemente evoluindo, porém os nanomateriais com superfície funcionalizada apresentam elevado custo. Os principais métodos de funcionalização superficial existentes são:

- Derivação química (silanização, monocamadas auto-organizantes Au-Tiol),
- Tratamento enzimático,
- Métodos fotoquímicos,
- Implatação iônica e via elétrons,
- Plasma;

O manuseio de nanopartículas (metais e semi-metais em geral) necessitam de uma maior atenção em decorrência do comportamento pirofóbico destes nanomateriais. Usualmente, os nanomateriais devem ser manuseados numa atmosfera inerte (usualmente hélio ou argônio). Caso sejam adquiridos na forma de nanopartículas estabilizadas (usualmente em óleo mineral) o efeito desta estabilização ou a necessidade da remoção da substância estabilizante deve ser avaliada.

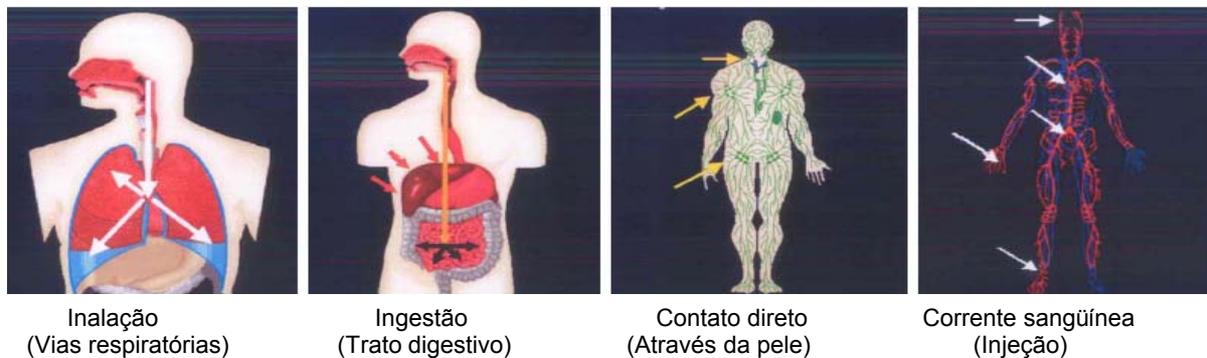


Figura 4 – Possíveis meios de entrada de nanopartículas no corpo humano ^[21].

Em função do diminuto tamanho das nanopartículas, os materiais nanoparticulados comportam-se quase como um gás quando misturados/dispersos em meio gasoso. Logo, equipamentos de segurança individual (EPI) e coletiva apropriada (filtros de segurança para gases e/ou nanopartículas) devem ser utilizados durante o manuseio de nanopós, além dos equipamentos usuais de proteção para a pele e visão (em função do tipo de nanopartícula e dos principais mecanismos de contato com os nanomateriais). A Figura número 4, apresentada anteriormente, identifica os principais meios de entrada de nanopartículas no corpo humano.

6 OUTRAS CONSIDERAÇÕES

Atualmente, os preços dos nanomateriais estão situados em patamares muito elevados. Porém, a médio e longo prazo, devido a melhoria em processos de fabricação e aumento da escala de manufatura (maior oferta e instalações de maior capacidade) o preço dos nanomateriais irá certamente diminuir, aumentando a participação de produtos contendo nanopartículas.

Outro importante ponto é a qualidade dos produtos ofertados. Muitos nanomateriais têm sido vendidos contendo padrões pífios de qualidade. Fornecedores qualificados devem ser objetivados.

A boa informação é o melhor meio para garantir o uso adequado dos nanomateriais, por se tratar de um assunto multidisciplinar, quanto melhor e mais bem informadas estiverem as pessoas envolvidas neste tema, maiores serão as perspectivas de se obterem melhores resultados, produtos e processos mais confiáveis.

7 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

A nanotecnologia tem trazido novas oportunidades não só para o desenvolvimento de novos produtos baseados nas características intrínsecas das partículas e compostos com dimensões nanométricas, como também possibilitado o emprego de nanomateriais na melhoria de “velhos” materiais como aços e ligas, materiais refratários, compósitos (carbono-carbono, matriz metálica etc.), polímeros, catalisadores, entre muitos outros.

O aumento da escala de produção e da utilização de nanomateriais traz consigo grandes desafios tecnológicos, seja nas etapas de produção, manuseio, estabilização, funcionalização e incorporação destes de forma segura em novos produtos. Uma análise abrangente (todo o ciclo de vida dos materiais e produtos), cuidadosa e precavida, deve ser utilizada visando garantir a segurança e a saúde das pessoas e do meio ambiente.

Um esforço em vários níveis (ações de Estado, indústria, centros de pesquisa e universidades) deve ser conduzido buscando o desenvolvimento da nanotecnologia e de seus contornos (padrões de segurança, regras e normas de manuseio, transporte, legislações específicas, patentes, etc.), bem como a condução de estudos de toxicidade, dispersão e interações biológicas das nanopartículas com organismos vivos.

Finalmente, um dos pontos mais importantes é a formação de pessoal tecnicamente especializado capaz de conduzir experimentos e projetar produtos de forma segura, atuando na disseminação de informações confiáveis e corretas para a sociedade, sem deixar nunca de lado os aspectos éticos envolvidos no desenvolvimento de novas tecnologias.

Agradecimentos

Magnesita S/A.

REFERÊNCIAS

- 1 KILLICK, DAVID Optical and Electron Microscopy in Material Culture Studies, In: W. David Kingery, **Learning from Things**, edited by: Smithsonian Institution Press, London, 1996, Chapter 14, p 204 – 230.
- 2 WILSON, MICK; KANNANGARA, KAMALI, SMITH, GEOFF, SIMMONS, MICHELE, RAGUSE, BURKHARD. **Nanotechnology: basic science and emerging technologies**, Sydney, Chapman & Hall/CRC, 2004, Chapter 7, p 168-187.
- 3 FEYNMAN, RICHARD Plenty of Room at the Bottom – Caltech/Dec1959. Disponível em: <http://www.its.caltech.edu/~feynman/plenty.html>. Acesso em: 10/01/2007.
- 4 DREXLER, K. ERIC. **Engines of Creation: the coming era of nanotechnology.**, New York/USA, Anchor Books, 1986, p 298.
- 5 STIX, GARY Little big science, In: **Understanding Nanotechnology**, Scientific American Inc, New York/USA, published by: Warner Books, 2002, p6-18.
- 6 US GOVERNMENT. The National Nanotechnology Initiative (NNI). Disponível em: http://www.nano.gov/html/about/home_about.html Acesso em: 10/01/2007.

- 7 ROCO, M. C. National Nanotechnology Initiative: The Long-term View. EPA, April 2005. Disponível em: http://es.epa.gov/ncer/nano/lectures/roco_04_18_05_presentation.pdf. Acesso em: 10/01/2007.
- 8 MERZBACHER, CELIA. Nanotechnology: A Policy Perspective. EPA, May 2005. Disponível em: http://es.epa.gov/ncer/nano/lectures/merzbacher_05_02_05_presentation.pdf#search=%22nanotechnology%20%2B%20investment%20%2B%20ppt%22. Acesso em: 10/01/2007.
- 9 AGÊNCIA BRASIL. Cientistas dizem que Brasil precisa acelerar estudos em nanociências, 16/03/2004. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010175040316>. Acesso em: 10/01/2007.
- 10 BERGESON, L. LYNN. Frontiers in Nanotechnology, May 2005. Disponível em: http://es.epa.gov/ncer/nano/lectures/bergeson_05_09_05.pdf. Acesso em: 10/01/2007.
- 11 BRASIL- Ministério da Ciência e Tecnologia. Programa Nacional de Nanotecnologia, Disponível em: <http://acessibilidade.mct.gov.br/index.php/content/view/27137.html>. Acesso em: 10/01/2007.
- 12 LEE, W. E.; ZHANG, S.; KARAKUS, M. Refractories: Controlled microstructure composites for extreme environments. **Journal of Materials Science**, v 39, p 6675-6685, 2004.
- 13 LAWSON, S.; JONES, R.A.L.; LEE, W.E.; WILKINSON, J. M.; WILLIAMS, R. A.; YOUNG, R. J. Nanotechnology for the nuclear industry: a foresight perspective for BNFL. Ed. by: **Yorkshire Forward Industrial Centre of Particle Science and Engineering**. University of Leeds/UK, p 45, April 2004.
- 14 NEL, ANDRE; XIA, TIAN; MÄDLER, LUTZ; LI, NING Toxic potential of materials at the nanolevel – vol 311, **Science** 3 feb. 2006.
- 15 KIPEN, HOWARD M. LASKIN, DEBRA L. Smaller is not always better: nanotechnology yields nanotoxicology – **American Journal of Physiology – Lung Cellular and Molecular Physiology**. 289: L696-L697, 2005.
- 16 DONALDSON, KEN; AITKEN, ROBERT; TRAN, LANG; STONE, VICKI; DUFFIN, RODGER; FORREST, GAVIN e ALEXANDRER, ANDREW Carbon nanotubes: A review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety – **Toxicological Sciences**, 92(1), 5-22. 2006.
- 17 ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING – Nanotechnologies - ‘Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties’ – July 2004 Disponível em: <http://www.nanotec.org.uk/finalReport.htm>. Acesso em: 10/01/2007.
- 18 DTI – Response to the Royal Society and Royal Academy of Engineering report: Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, Feb 2005. Disponível em: <http://www.dti.gov.uk/files/file14873.pdf>. Acesso em: 10/01/2007.
- 19 SMITH, ALAN An atlas of roadmap for nanoparticles production. In: **Anais eletrônicos ... Nanoparticles for European Industry – Manufacture, scale-up, stabilization, characterization and toxicology**, The Institute of Nanotechnology, London: 2-3 maio de 2006. 1 CD.
- 20 EUROPEAN COMMISSION. Nanotechnology: Innovation for tomorrow’s world. Disponível em: http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pe_leaflets_brochures.htm. Acesso em: 15/12/2006.
- 21 SABBIONI, ENRICO Alternative to animal testing in nanotoxicology research. In: **Anais eletrônicos ... Nanoparticles for European Industry – Manufacture, scale-up, stabilization, characterization and toxicology**, The Institute of Nanotechnology, London: 2-3 maio de 2006. 1 CD.