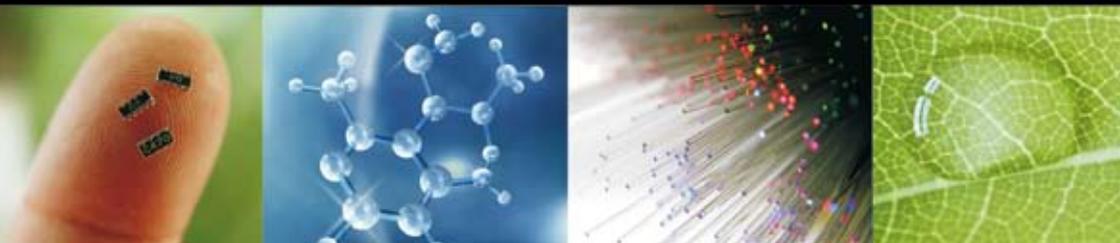


CARTILHA SOBRE NANOTECNOLOGIA



CARTILHA SOBRE **NANOTECNOLOGIA**

©2010 – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.

Supervisão

Maria Luisa Campos Machado Leal – Diretora

Equipe ABDI

Marcia Oleskovicz – Coordenadora de Comunicação

Maria Olívia de Souza Brandão – Técnica

Karen Cristina Leal da Silva Ilogti – Técnica

Henrique Antunes Figueiredo – Assistente

UNICAMP/FUNCAMP

Prof. Oswaldo Luiz Alves – Responsável Técnico (LQES)

Projeto gráfico e diagramação

Marco Lucius Freitas

Marcos Barros

ABDI

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

Setor Bancário Norte – Quadra 1

Bloco B - Ed. CNC

70041-902 – Brasília/DF

Tel.: (61) 3962-8700

Fax: (61) 3962-8715

www.abdi.com.br

UNICAMP/FUNCAMP

Fundação de Desenvolvimento da Universidade Estadual de Campinas

Cidade Universitária Zeferino Vaz

Distrito de Barão Geraldo

13081-970 - Campinas/SP

Tel.: (19) 3521-3147

www.unicamp.br

www.funcamp.unicamp.br

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

**Ministério do Desenvolvimento, Indústria e
Comércio Exterior (MDIC)**

Miguel Jorge

Ministro

**Agência Brasileira de Desenvolvimento
Industrial (ABDI)**

Reginaldo Braga Arcuri

Presidente

Clayton Campanhola

Diretor

Maria Luisa Campos Machado Leal

Diretora

Rosane Argou Marques

Coordenadora de Inovação

Sumário

Entendendo o tamanho	09
A escala nano	11
Efeitos e escala de tamanho	13
Nano na natureza	15
Nano na história da ciência e do homem	17
A história recente da nano	19
Novas propriedades decorrentes da escala	21
Como se faz nano?	23
Convergência científico-tecnológica da nanotecnologia	24
Onde está a nanotecnologia no setor produtivo?	26
Qual o tamanho do negócio nanotecnologia?	29
Produtos no mercado	30
Construindo uma nanotecnologia cada vez mais segura	32
Os produtos brasileiros	33
Cadeia de valor da nanotecnologia	34
Nano e políticas públicas	36
Considerações finais	37
Anexos	38



Entendendo o tamanho

Quando se fala de nanotecnologia, a primeira coisa a fazer é mudar a escala com a qual se vê o mundo. Não se trata somente de mudar a forma como os olhos vêem as coisas. O que deve ser feito é mudar a maneira como o cérebro trabalha. Assim, essa é a melhor forma de entrar no pequeno grande mundo da nanotecnologia.

Como isto é possível?

Para as crianças existem somente o grande e o pequeno. Uma pulga é algo muito pequeno, ao passo que um elefante é uma coisa muito grande. Da mesma maneira, um tijolo de construção é pequeno, mas as casas são coisas grandes.

Dentro do mundo cotidiano - o mundo da macro escala -, o elefante, a casa, a pulga e o tijolo estão dentro de uma mesma escala de tamanho, ou seja, têm poucas ordens de magnitude de diferença. A ordem de magnitude é expressa em potências de 10. Isso significa que, se uma coisa é 10 vezes maior que outra, ela é uma ordem de magnitude maior.

Contudo, existem coisas muito maiores e muito menores que os exemplos apresentados acima.

Assim, o objeto mais distante que podemos observar está a 10^{18} centímetros de distância, ou seja, o número 1 seguido de dezoito zeros:

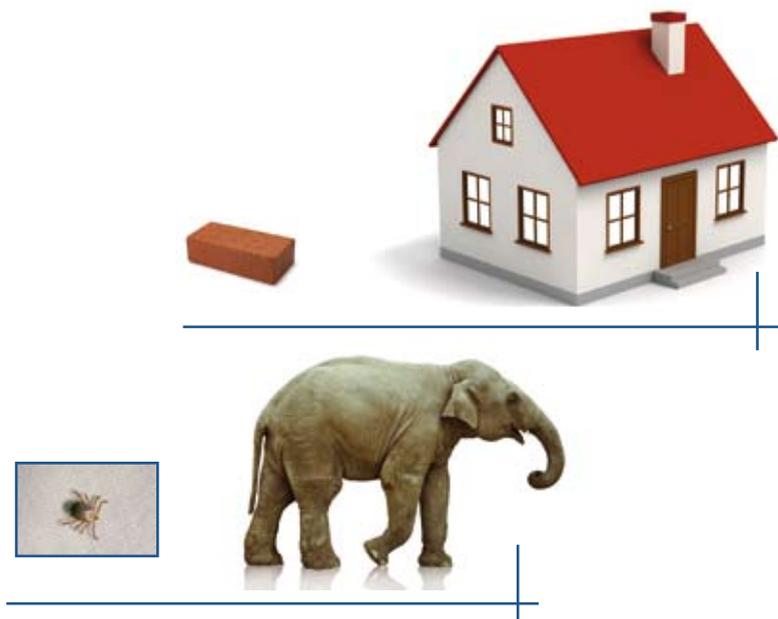
1 000 000 000 000 000 000

Por outro lado, a menor coisa existente no universo é conhecida como o comprimento de Planck, equivalente a 4×10^{-35} centímetros:

0, 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 04

Assim, lembrando que cada ordem de grandeza representa uma potência de 10, pode-se dizer que a diferença entre a maior e a menor coisa existente no universo é de 53 ordens de grandeza.

Voltando, então, aos exemplos já citados, a diferença de tamanho entre o tijolo e a casa é cerca de duas ordens de grandeza, o que não é muito. A diferença da pulga em relação ao elefante é de cinco ou seis ordens de grandeza.



De modo geral, o tamanho das coisas envolvidas durante o nosso dia a dia está compreendido entre o tamanho da pulga e da linha do horizonte, ou seja, cerca de sete ordens de grandeza. Seguem alguns exemplos:

- uma pulga tem cerca de 5×10^{-2} m.
- um lápis tem cerca de $1,3 \times 10^{-1}$ m.
- um elefante tem cerca de 3 m.
- um avião ERJ da Embraer tem 23 m.
- um campo de futebol tem cerca 10^2 m.
- o prédio mais alto do Brasil, o Edifício Mirante do Vale, em São Paulo, tem 170 m de altura.
- a linha do horizonte tem cerca de 3×10^4 m.

Um aspecto que necessariamente deve ser destacado é que muitas coisas altamente significativas do mundo ocorrem fora dessa faixa de tamanho. Essas coisas pertencem ao mundo da micro ou da nanoescala.

A escala nano

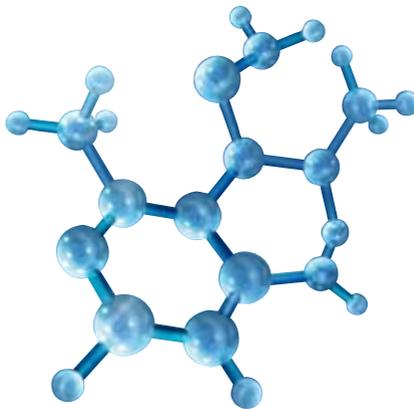
O que vem a ser a escala nano?

Antes de responder esta pergunta, é bom fazer algumas colocações. Os prefixos micro, nano, mili, centi são usados para que se possa especificar o fator pelo qual é multiplicada uma determinada grandeza. Na verdade, estão associados com potências de 10. Assim, como kilo corresponde a um fator 10^3 , mili corresponde a 10^{-3} . Na escala nano (nm), o fator de grandeza corresponde a 10^{-9} . Assim, quando se fala de 1 nanômetro, refere-se a um fator de 10^{-9} do metro, ou seja, um bilionésimo do metro:

0,000 000 001m

Esse tamanho é aproximadamente 100 mil vezes menor do que o diâmetro de um fio de cabelo, 30 mil vezes menor que um dos fios de uma teia de aranha ou 700 vezes menor que um glóbulo vermelho.

É exatamente nessa escala de tamanho que a nanotecnologia é trabalhada e que os objetos nanotecnológicos são concebidos. Nessa mesma escala estão os átomos e as moléculas.



Nanotecnologia: mundo dos átomos e moléculas

Vale a pena dar uma boa observada no Box 1, onde são comparados vários tamanhos.

Box 1

Átomo (H)	0,1 nm
DNA	2 nm
Proteínas	5-50 nm
Vírus	75-100 nm
Bactérias	1000-10000 nm
Células brancas	10 000 nm

Os números que figuram no Box 1 são muito interessantes. São necessários dez átomos de hidrogênio colocados um ao lado do outro para termos apenas 1 nanômetro. É senso comum considerar os vírus e as células brancas como entidades muito pequenas. Entretanto, dentro da escala nanométrica, as células brancas são enormes, dado que as entidades típicas tratadas pela nanotecnologia geralmente estão entre 1 e 100 nm. Não se pode esquecer que 1.000 nanômetros é igual a 1 micrôn, portanto as células brancas podem ter até 10 microns ou 10^4 nm, ou seja, enormes frente ao tamanho de algumas entidades típicas da nanotecnologia que figuram no Box 2.

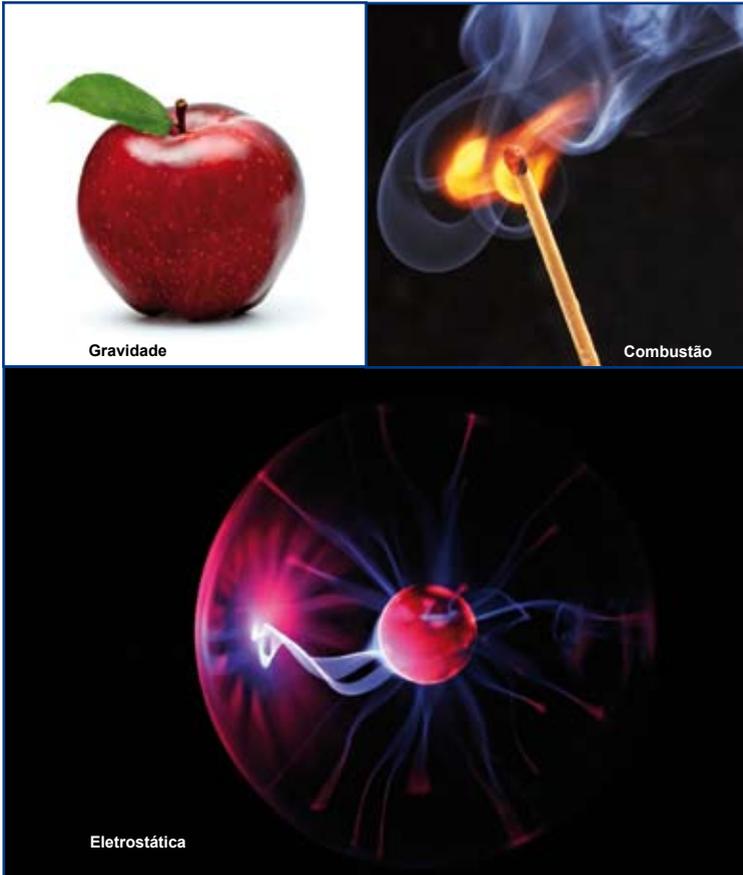
Box 2

Nanopartículas	1-100 nm
Fulereno (C60)	1 nm
Quantum dot (CdSe)	8 nm
Dendrímeros	10 nm

As definições das entidades citadas nos boxes 1 e 2 podem ser encontradas no site do Laboratório de Química do Estado Sólido da Universidade Estadual de Campinas (<http://lqes.iqm.unicamp.br>).

Efeitos e escala de tamanho

Efeitos como gravidade, fricção, combustão, eletrostática, forças de Van der Waals e movimentos brownianos estudados em livros de ciência estão, na intimidade, relacionados com escalas de tamanho.



No Box 3 são apresentados os fenômenos e suas respectivas escalas de tamanho, mostrando que existe uma dependência entre a escala de tamanho e os diferentes efeitos.

Box 3

Centímetro	Gravidade, fricção, combustão
Milímetro	Gravidade, fricção, combustão, eletrostática
Micrômetro	Eletrostática, Van der Waals, browniano
Nanômetro	Eletrostática, Van der Waals, browniano, quântico
Angström	Mecânica quântica

Como mostrado no Box 3, ao entrar na escala nanométrica, grande parte dos efeitos estão relacionados com os aspectos quânticos.

Nano na natureza

Existe efeito nano na natureza?

A resposta é sim. Em várias coisas bem conhecidas por todos. Por exemplo, quando a água é misturada com o óleo, ocorre sobre a superfície um efeito chamado iridescência (efeito arco-íris). Efeito semelhante pode ser observado nas asas da borboleta azul e na própria pena do pavão. Na verdade isso ocorre porque existem estruturas em escala nanométrica, denominadas nanoestruturas, que, ao interagir com luz, modulam o índice de refração causando interessante efeito óptico, no qual a cor muda com o ângulo de observação ou iluminação.



Iridescência observada na borboleta azul

As lagartixas sempre chamaram a atenção pelo fato de poderem andar nas superfícies do jeito que bem entenderem: de cabeça para cima, de cabeça para baixo ou de lado. Tais animais têm essa “autonomia decisória” porque em suas patas existem nanoventosas, que acabam proporcionando uma fortíssima adesão nas mais diferentes superfícies (alvenaria, plásticos, vidros, metais etc.).

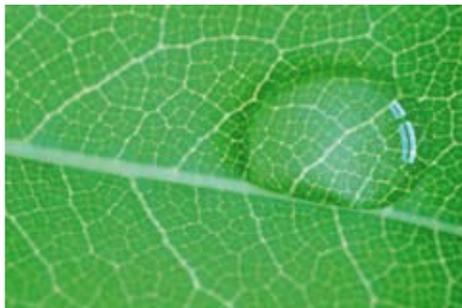


Lagartixa



Ventosas existentes nas patas da lagartixa

Os exemplos na natureza não ficam apenas nesses. Um efeito muito interessante creditado à presença de nanoestruturas é o chamado efeito lótus, que ocorre em muitas folhas de plantas. A presença das nanoestruturas faz com que a superfície fique super-hidrofóbica (tendência a repelir a água). Como resultado, tem-se que a água não escorre, mas, literalmente, “rola”.



Efeito lótus

Por fim, vale mencionar outro exemplo: os dentes. Graças à presença de uma organizada nanoestrutura, os dentes apresentam elevada resistência mecânica, o que permite a mastigação de alimentos sólidos e duros, como amendoim, castanhas, polpa de coco ou uma maçã bem verde.



A grande resistência dos dentes se deve à presença de nanoestruturas

Como visto, vários fenômenos associados à escala nano na natureza fazem parte do cotidiano, apesar de muitas vezes não nos darmos conta disso.

Nano na história da ciência e do homem

Quando a nanotecnologia é discutida, algumas pessoas pensam que ela começou a existir no início dos anos 80. O que pode ser verdade em relação ao nome. Entretanto, a preocupação do homem com o “muito pequeno” já vem de séculos atrás. Mas, então, quando começou?

A história começa no século V a.C., com Leucipo de Mileto, considerado o mestre de Demócrito, que desenvolveu a teoria de que “tudo seria composto de partículas minúsculas indivisíveis e invisíveis a olho nu”, os então chamados átomos.

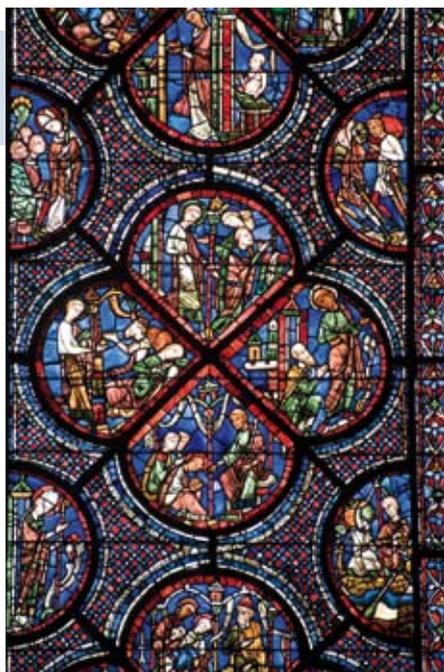
Essa idéia chegou até o século XIX, quando a noção da indivisibilidade do átomo foi acrescentada, por John Dalton (1803), à idéia de que os átomos seriam como “bolas de bilhar” e que os elementos eram constituídos por átomos do mesmo tipo. Nessa linha, Dalton enunciou que “os compostos eram constituídos de átomos com razões específicas”, o que o levou às conhecidas Leis Ponderais de Dalton.

No início do século XX, entra em cena Ernest Rutherford (1908) propondo o modelo de átomo similar ao “sistema solar”, depois de descobrir que os átomos eram constituídos, em sua maioria, de espaço vazio com um núcleo denso positivamente carregado e circundado por elétrons (negativos).

Finalmente, vem a contribuição de Niels Bohr (1915) que propôs o modelo pelo qual os elétrons giravam ao redor do núcleo em órbitas circulares e que somente algumas órbitas eram permitidas. Este modelo do átomo permitiu explicar o espectro de emissão do átomo de hidrogênio.

Essas contribuições mostram claramente que os homens de ciência há muito tempo vêm se preocupando com o “muito pequeno”. Todavia, não foi só a ciência que avançou na direção do entendimento das relações entre tamanho e propriedades. Vários processos artesanais muito antigos se assemelham às nanofabricações de hoje. São notáveis os pigmentos feitos à base de metais e seus compostos, sobretudo ouro, cobre e ferro, que serviram para construir os maravilhosos vitrais de catedrais da Europa.

Vitral da Catedral de Chartres,
1300 d.C. (França)



Sabre feito em aço de Wootz
(Aço de Damasco)
1000-1300 d.C. (Siria)

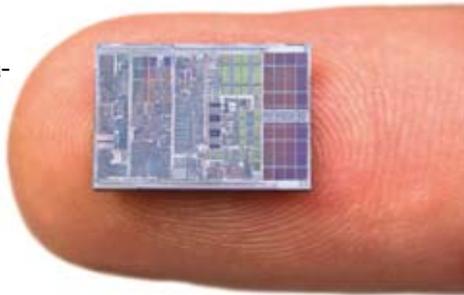
Como último ponto, destaca-se a metalurgia, que gerou o famoso aço de Wootz (aço de Damasco), que levanta a questão: os antigos metalurgistas dominavam a nanotecnologia? Recentemente descobriu-se que esses aços contêm compostos de carbono semelhantes aos nanotubos, o que lhes conferem uma dureza excepcional.

A história recente da nano

Esta história poderia começar com as seguintes questões: **a nanotecnologia é um conhecimento novo ou é uma ideia que vem se construindo há muito tempo?**

Sabe-se que há, pelo menos, 30 anos vários laboratórios no mundo desenvolvem pesquisas na direção da miniaturização, sobretudo de sistemas eletrônicos, nanopartículas, sistemas nanoparticulados etc. É importante mencionar que a eletrônica trazia já em seu arcabouço conceitual ideias para o tratamento do “muito pequeno”. Muitos autores colocam o filme *Viagem Fantástica (Fantastic Voyage)*, de 1966, baseado no livro de Isaac Asimov, como sendo um dos primeiros a revelar tais ideias para o grande público.

Richard Feynman, em 1959, chamava a atenção para o fato de que, na dimensão atômica, trabalha-se com leis diferentes e, assim, devem ser esperados eventos diferenciados: outros tipos de efeitos e novas possibilidades.



Miniaturização

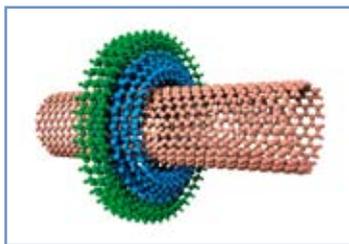
O termo “nanotecnologia” foi cunhado por Norio Taniguchi, em 1957, e abarcava em seu significado máquinas que tivessem níveis de tolerância inferiores a 1 micron (1.000 nm).

Outros acontecimentos importantes permitiram a percepção da relevância da nanotecnologia:

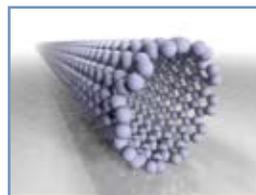
- i) o trabalho de Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, criadores do microscópio de tunelamento (*scanning tunneling microscope*), instrumento que permitiu a criação, modificação e processamento de imagens eletrônicas de átomos individuais, por meio de um software de computador, em 1981;



ii) Fulereo



iii) Drexler: fabricação de dispositivos com especificações atômicas complexas



v) Nanotubos de carbono (NTC)

ii) a descoberta dos fulerenos, que são a terceira forma mais estável do carbono, por Robert Curl, Harold Kroto e Richard Smaley, em 1985;

iii) a publicação do livro de Eric Drexler, *Engines of Creation*, que efetivamente popularizou a nanotecnologia, em 1981;

iv) o feito de Donald Eigler ao lograr escrever o nome IBM, em 1989, com átomos individuais do elemento xenônio (Xe);

v) a descoberta dos nanotubos de carbono, que são estruturas cilíndricas formadas por átomos de carbono e que possuem alta resistência, por Sumio Iijima, no Japão, em 1991.

Efetivamente, tais descobertas criaram um clima todo especial, pois colocavam a nanotecnologia como “uma nova revolução científica”, potencializando o lançamento pelo Governo Clinton, em 2000, no *Califórnia Institute of Technology*, da *National Nanotechnology Initiative*, que proporcionou investimentos de US\$ 495 milhões, dando uma visibilidade extraordinária a esse campo de pesquisa.

Hoje, mais de 60 países possuem iniciativas nacionais ligadas ao estudo das nanociências e nanotecnologia, sendo que o total de investimento global ultrapassa US\$ 5 bilhões.

Novas propriedades decorrentes da escala

Do ponto de vista científico, um dos aspectos que acaba tendo implicações sobre as aplicações reside no fato de que, na escala nanométrica, muitas propriedades fundamentais, como as químicas, as físicas e as mecânicas dos materiais, mudam radicalmente.

Um exemplo emblemático deste aspecto está relacionado ao chamado vidro rubi, conhecido desde o século XVII. A variação do tamanho das partículas de ouro adicionadas na sua composição pode fazer com que o vidro adquira diferentes colorações. Isso se verifica na Taça de Licurgo, antiguidade romana do século IV d.C (em exposição no Museu de Londres), que é feita de bronze com um baixo relevo em vidro rubi. Pelo fato de as partículas de ouro terem cerca de 20 nm, o vidro apresenta coloração vermelha, pois tem uma absorção de luz por volta de 530 nm. Este efeito foi identificado por Faraday, já em 1857, em seus experimentos com coloides de metais.

Isso quer dizer que é possível ter ouro de diferentes cores?

A resposta é sim. Dependendo do tamanho das partículas é possível ter ouro de coloração laranja, púrpura, vermelha ou verde. Esse efeito é chamado de efeito quântico de tamanho (*quantum size effect*) e as nanopartículas de pontos quânticos (*quantum dots*).



Ouro macroscópico

O efeito quântico de tamanho não ocorre somente para nanopartículas metálicas. Esse efeito é muito comum para os semicondutores. Na próxima figura é mostrado o que acontece com o Seleneto de Cádmio (CdSe), semicondutor da família II-VI, contendo pontos quânticos de diferentes tamanhos (faixa de 2-7 nm).



Fonte: LQES/Unicamp

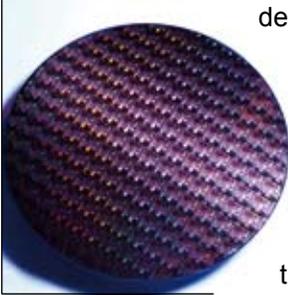
Da esquerda para direita, é possível verificar o aumento do tamanho dos pontos quânticos. Na fileira superior pode-se observar vidros com soluções dos pontos quânticos, enquanto na fileira inferior a fluorescência das soluções quando irradiadas com um laser.

Tais variações nas propriedades têm sido determinantes para a aplicação real desses nanomateriais nos diferentes segmentos industriais. Os exemplos também mostram as diferenças de comportamento dos materiais na escala nano e macro.

Como se faz nano?

As nanoestruturas podem, basicamente, ser feitas de dois modos: “de cima para baixo” (*top-down*) e “de baixo para cima” (*botton-up*).

No *top-down* impõe-se uma estrutura no sistema por meio da definição de padrões e sua criação utilizando partes maiores.



Confeção de chips por litografia: repetição do padrão

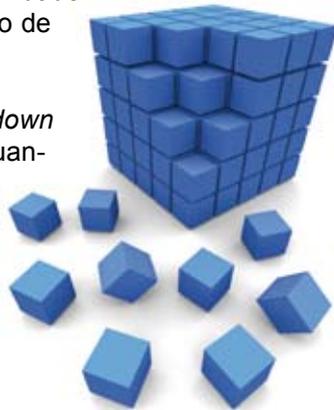
Nesse caso há necessidade do uso de maquinaria capaz de reproduzir os padrões, como é o caso da confecção de chips, que, via de regra, utiliza a técnica de litografia e derivados (processo de gravação com luz).

No *top-down* parte-se do entendimento e controle do comportamento quântico intramolecular, de moléculas especificamente desenhadas e sintetizadas. Usam-se superfícies para localizá-las e estabilizá-las. Os sistemas são interconectados, partindo-se de partes atômicas e/ou moleculares. Neste processo aproveita-se da auto-organização.

Em outras palavras, as coisas funcionam como partes que se encaixam. Começamos com um “bloco de construção” e o sistema avança na direção de sua condição de maior estabilidade.

Ao lado, pode-se observar uma ilustração de como a auto-organização pode ocorrer.

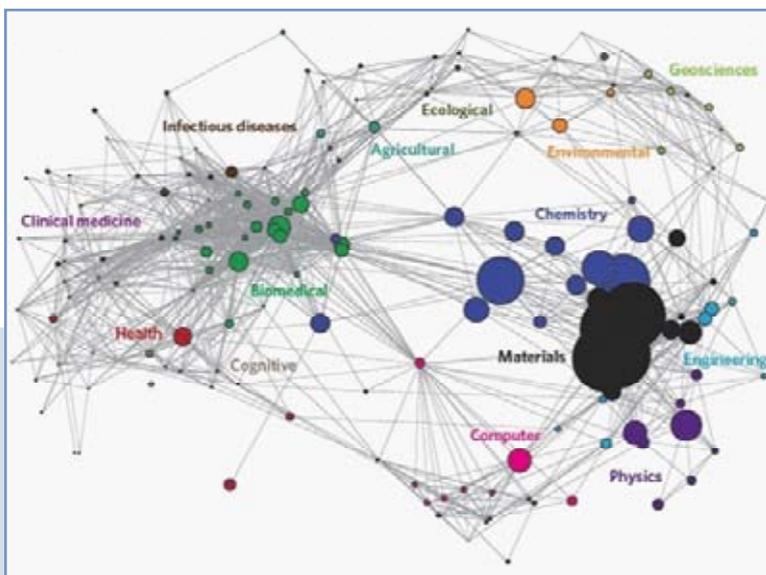
De maneira geral, os processos *top-down* são realizados em sistemas secos, enquanto que os *botton-up* são realizados em meio aquoso ou solvente orgânico. Os físicos e engenheiros preferem os processos *top-down*, ao passo que químicos e biólogos utilizam mais os processos *botton-up*.



Blocos de construção e o sistema auto-organizado

Convergência científico-tecnológica da nanotecnologia

Uma das características marcantes da nanotecnologia é sua multidisciplinaridade. Trata-se de um encontro da química, física, engenharia e biologia. As diferentes interfaces são ricas de relevantes problemas científicos e oportunidades de geração de novas tecnologias. Pode ser observado no gráfico abaixo que os materiais se constituem num ponto focal, de onde há uma irradiação para as mais diferentes áreas.



Interação da área de materiais com outras grandes áreas do conhecimento (quanto maior o tamanho do círculo, maior a atividade)

Fonte: Universidade de Rice, Estados Unidos, 2009

Quanto aos aspectos tecnológicos, também é possível observar extensas fronteiras de oportunidades nas interações dos setores bio-farma, infotecnologia e nanotecnologia, alimentados pelas grandes áreas do conhecimento.



Fronteiras de oportunidades nas interações dos setores
 Fonte: LQES/ Unicamp

Outro aspecto bastante peculiar da nanotecnologia, que alguns autores têm chamado atenção, está na quebra de um paradigma que permaneceu durante muito tempo: a separação no tempo entre a pesquisa fundamental e a aplicação - hoje com um intervalo bem menor.

Não se pode esquecer que, há muito tempo, os pesquisadores estudam entidades do tamanho de átomos e moléculas. A química, a física, a espectroscopia, a bioquímica e a biologia estão relacionadas com as propriedades de átomos e moléculas. Somente a partir dos anos 80 é que foi possível manipular isoladamente as nanopartículas.

Na maioria dos casos, na escala nanométrica não é mais possível distinguir as propriedades químicas e físicas dos nanossistemas, as quais dependem fortemente da maneira como os nanossistemas são sintetizados, arranjados e explorados.

Qual a implicação dessa situação?

Químicos, físicos, especialistas em materiais, engenheiros e biólogos devem trabalhar em conjunto a fim de não só compreender como também utilizar as propriedades dos nanossistemas.

Onde está a nanotecnologia no setor produtivo?

Como é possível notar ao avançar na leitura da Cartilha, a nanotecnologia não é somente promessa de futuro. Existe uma nanotecnologia permeando quase todo o setor produtivo mundial, ainda que de forma mais pronunciadamente incremental do que revolucionária, começando a fazer parte dos portfólios de um grande número de empresas, sejam as tipicamente nanotecnológicas, sejam aquelas que estão rapidamente se adequando aos novos tempos.

Os setores que mais têm se destacado no lançamento de produtos obtidos por via nanotecnológica, ou contendo nanotecnologia embarcada, estão representados nas figuras abaixo.



Energia



Iluminação



Automobilístico



Embalagens



Cosméticos



Tecidos



Fármacos



Esportes

No Box 4 são apresentadas informações sobre produtos, juntamente com algumas observações.

Box 4

Setor	Tipo de Produto/Observações
Energia	Sistemas fotovoltaicos; células solares; <i>grids</i> de energia; baterias; pás para geradores eólicos.
Iluminação	LEDs baseados em <i>quantum dots</i> para iluminação pública, domiciliar e automobilística.
Automobilístico	Pinturas especiais (não riscam, autolimpantes); catalisadores para conversores catalíticos para gases de escapamento; eletrônica embarcada; tecidos antibacterianos.
Esportes	Raquetes de tênis (nanotubos de carbono); roupas esportivas antitranspirantes e antibactericidas; calçados para esportes; quadros para bicicletas; tacos de golf; luvas para esportes.
Tecidos	Tecidos resistentes à sujidades (efeito lótus); tecidos antibactericidas; tecidos técnicos e não tecidos.
Embalagens	Embalagens com propriedades de barreira (umidade, gases), à base de nanocompósitos; embalagens inteligentes, sensíveis a gases de decomposição de alimentos; recipientes bactericidas (prata) para guardar alimentos perecíveis.
Cosméticos	Protetores solares; produtos para recuperação da pele; produtos contendo cores físicas (índice de refração); produtos para maquiagem.
Fármacos	Novas formas de administração de fármacos (nanoemulsões e nanopartículas); <i>drug-delivery</i> ; terapia de cânceres.

Além dos setores destacados, o setor de Ciências da Vida merece recorte especial, na medida em que não é só a parte de fármacos que se mostra em forte atividade. Já existe no mercado, aprovados ou em vias de aprovação, diversos produtos: materiais implantáveis, materiais bio-absorvíveis, materiais para reparação óssea; sensores implantáveis (pressão); sistemas de *drug-delivery* com sensores e auto-dosadores (insulina); sistemas de processamento de alta performance e multianálise (DNA); implantes de retinas (eletrônicas) e sistemas de

audição (cocleares); ferramentas de diagnóstico; *lab-on-chips*; entre outros. O setor eletrônico de alta performance também continua em forte atividade, com lançamentos próximos de chips sub-50nm, novas memórias, computadores de alta performance operando em teraflop, eletrônica flexível, etiquetas eletrônicas, eletrônica ubíqua (vestimentas, calçados e acessórios).

Têm sido observadas várias ações no sentido de, efetivamente, fazer a conexão entre a nanotecnologia, sustentabilidade e mudanças climáticas. Acredita-se que, nesta área, serão inúmeras as oportunidades de pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e negócios, sobretudo nas questões afeitas à água, aos desenvolvimentos de novos materiais para construção e ao aproveitamento de resíduos urbanos, agricultura, consumo de energia e meio ambiente.

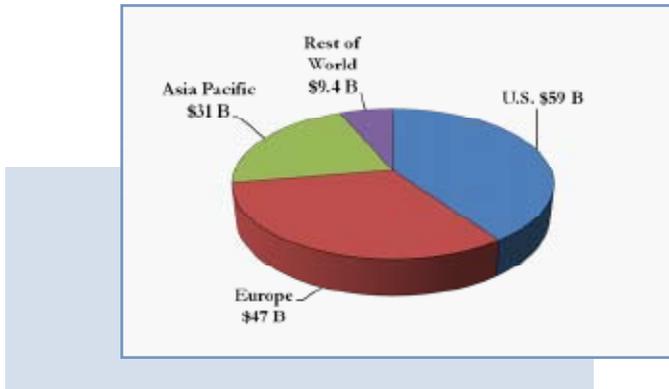
Não obstante às imensas possibilidades existentes, é importante avaliar - mesmo que um tanto superficialmente - como estão sendo e serão as gerações de novos produtos. Aqui são destacadas as idéias de Mikail Roco, que desenvolveu quatro gerações de nanotecnologia:

- **Nanoestruturas passivas:** de 2000 a 2005, a pesquisa trabalhou na primeira geração de produtos feitos de nanopartículas, superfícies e materiais nanoestruturados;
- **Nanoestruturas ativas:** a partir de 2006, as iniciativas de P&D se concentram na fabricação de elementos nanoeletrônicos (transistores, amplificadores), de sistemas de distribuição de medicamentos (*drug-delivery*) e de estruturas adaptativas;
- **Sistemas de nanossistemas:** Em 2010, os grandes objetivos estão relacionados, sobretudo, à produção controlada de montagens de nanossistemas, de novas arquiteturas e redes para eletrônica, de desenvolvimento da robótica e de sistemas evolutivos;
- **Nanossistemas moleculares:** ao redor de 2015-2020, tratar-se-á de conceber novos dispositivos moleculares e de tornar possível sua concepção em nível atômico com a realização de funções emergentes.

Essas gerações de produtos certamente levarão ao uso da nanotecnologia revolucionária, que alguns chamam de disruptivas, que criam a necessidade de estar atento e com capacidade para acompanhar e participar dos novos desafios científicos e tecnológicos.

Qual o tamanho do negócio nanotecnologia?

Há várias previsões para o mercado global da nanotecnologia envolvendo a produção e a comercialização de produtos e equipamentos. Das mais às menos otimistas, todas convergem para o valor de mais de um trilhão de dólares, em 2015. Os mais otimistas chegam a falar em US\$ 3,5 trilhões, em 2015, como é o caso de Josh Wolf, da Lux Capital (USA). Segundo a Lux, o mercado global de nanotecnologia faturou, em 2007, cerca de US\$ 146,4 bilhões. A distribuição regional é mostrada no gráfico abaixo.



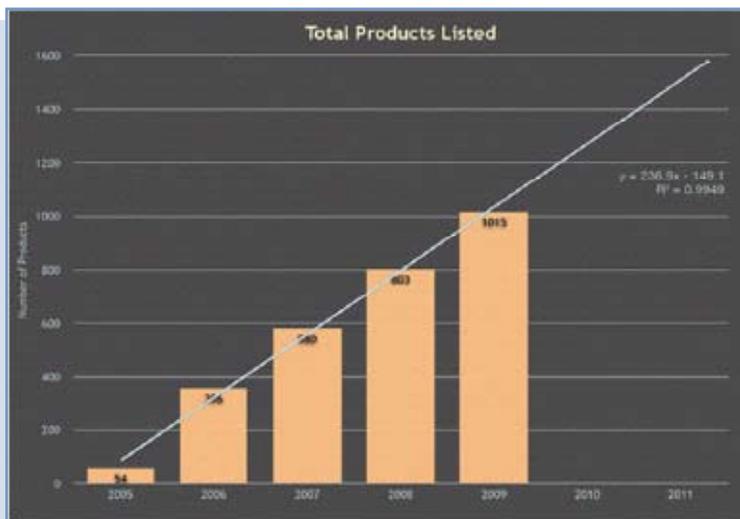
Mercado global de nanotecnologia (2007)
Fonte: Lux Capital (EUA)

Este tamanho de mercado - juntamente com o potencial multi-industrial da nanotecnologia - tem feito crescer o interesse de governos, corporações, empresas de capital de risco e pesquisadores acadêmicos pela nanotecnologia. Existem no mundo mais de 60 iniciativas nacionais voltadas para a área. Segundo o governo americano, de 1997 a 2005, aproximadamente US\$ 18 bilhões foram investidos globalmente em nanotecnologia.

São poucos os negócios no mundo que apresentam números tão elevados. É difícil não se convencer de que a nanotecnologia é - além de uma grande plataforma tecnológica - uma interessante oportunidade para as empresas.

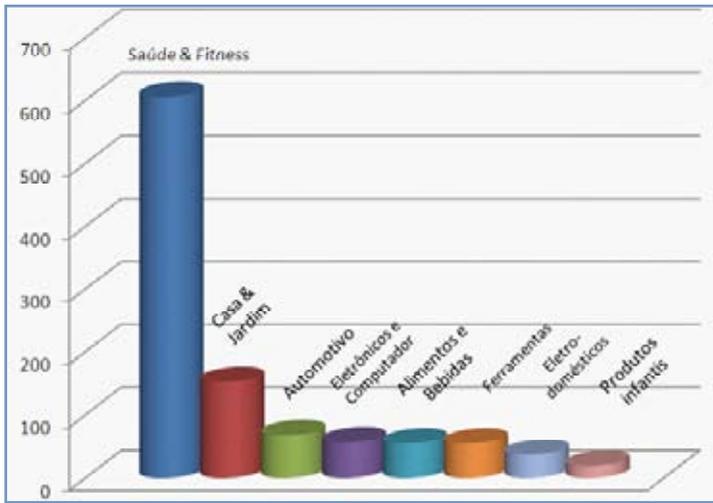
Produtos no mercado

É muito difícil saber exatamente quantos produtos obtidos por nanotecnologia ou que contêm nanotecnologia embarcada estão sendo comercializados atualmente no mundo. O Projeto PEN (*Project on Emerging Nanotechnology*) da Woodrow Wilson (EUA), vem reportando desde 2005 informações voluntárias dos fabricantes. Em 2005, o número de produtos informados era de 54. Passados cinco, anos já ultrapassa 1.015. Mantida essa tendência, em 2011 são esperados cerca de 1.500 produtos.



Fonte: PEN Project (agosto 2009)

Um detalhamento dos dados do projeto PEN (gráfico a seguir) mostra que a categoria onde aparecem mais produtos é a “Saúde e Fitness”, dentro da qual temos: vestuário, cosméticos, filtros, cuidados pessoais, artigos esportivos e protetores solares.



Fonte: PEN Project (agosto 2009)

Quanto aos países detentores de depósitos de patentes de produtos nanotecnológicos, temos o seguinte quadro: Estados Unidos (540), Ásia (240), Europa (154) e outros (66).

É importante ressaltar que os produtos estão sendo comercializados em todo o mundo, mesmo antes de se ter uma legislação específica para sistemas contendo nanoestruturas.

Construindo uma nanotecnologia cada vez mais segura

Um grande número de atividades tem sido realizado com o olhar voltado para os impactos da nanotecnologia sobre a saúde humana e o meio ambiente. Por se tratar de tecnologia emergente, a nanotecnologia ainda não tem um histórico importante relativamente a tais aspectos, o que determina a necessidade de estudos experimentais intensivos.

Os resultados obtidos, notadamente nos três últimos anos, a despeito da ausência de padrões consensuais (nanometrologia), têm permitido a várias agências internacionais, organizações e governos a elaboração de recomendações, normas e procedimentos para tratar destas questões. Tem sido, ainda, observada importante discussão relacionada a uma melhor definição da nanotecnologia dentro do escopo do REACH, legislação que normatiza a circulação de produtos químicos nacionais e importados no âmbito do território da Comunidade Européia.

Atualmente, já se pode contar com uma vasta literatura produzida por instituições como *Environmental Protection Agency (EPA)*, *Food and Drug Administration (FDA)*, *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*, *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*, *International Organization for Standardization (ISO)*, entre outras, que está servindo de base para que as indústrias desenvolvam seus projetos, produtos e processos. Nos anexos é apresentado um inventário de documentos, bem como os respectivos links para acesso.

A legislação para a nanotecnologia está passando por uma inflexão, na medida em que deixa de ser voluntária para ser mandatária (legalmente obrigatória). Estados Unidos e Comunidade Européia estão trabalhando juntos na construção de legislações harmonizadas.

Os produtos brasileiros

No Brasil, existem no mercado vários produtos que incorporam o conhecimento nanotecnológico. A disseminação dos mesmos para o grande público é feita por meio de campanhas publicitárias ou *releases* das empresas.

Nas figuras seguintes apresentamos alguns produtos.



Pigmentos para tintas



Secadores de cabelo



Lápis



Tratamento de água



Esterilizadores de água



Cosméticos



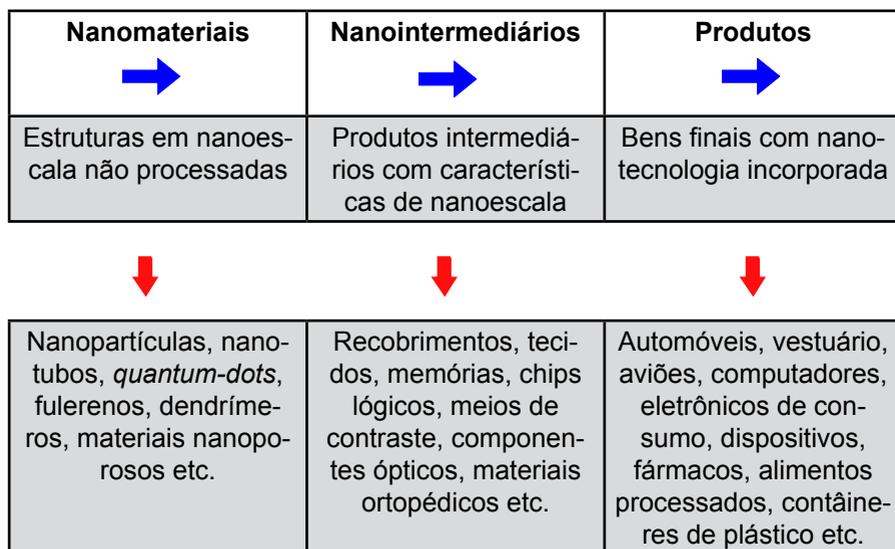
Palmilhas

Apesar de terem sido apresentados apenas alguns produtos, é possível afirmar, sem muita chance de erro, que existem atividades nanotecnológicas em empresas nos seguintes setores: cosméticos, tecidos, cerâmicos, ambiental, tintas, calçados, plásticos, fármacos, entre outros. A maturação de vários projetos, financiados pelo programa de subvenção econômica da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), poderá determinar um aumento na oferta de produtos brasileiros de base nanotecnológica.

Cadeia de valor da nanotecnologia

Um dos pontos que começa a receber realce no desenvolvimento industrial da nanotecnologia é o estabelecimento de sua cadeia de valor. Em um primeiro momento, as empresas desenvolviam seus produtos integralmente, por não existir ainda uma segmentação de atividades no setor.

Atualmente, fica claro que existem empresas que atuam em diferentes pontos da cadeia, como mostrado na figura abaixo.



Fonte: LQES/Unicamp

Um exemplo interessante a destacar é o da indústria ligada aos nanotubos de carbono. Primeiro, observa-se que as facilidades industriais e os investimentos colocarão a produção deste material em um patamar anunciado de mais de 3.000 toneladas/ano, em 2012. Segundo, observa-se que, na atividade, já foram identificados não só grandes conglomerados químicos (Bayer, Nanocyl, Showa Denko), mas também empresas que estão fazendo o papel de “integradoras”, na medida em

que colocam no mercado um grande número de formulações poliméricas contendo nanotubos. Na ponta da linha estão os aplicadores de materiais formulados.

Dentro desta lógica, muito recentemente foi apresentado o uso de uma formulação contendo nanotubos e matriz polimérica para ser usada no revestimento de cascos de navios petroleiros, a fim de evitar o aparecimento de cracas.

Na verdade, pode-se dizer que a nanotecnologia cria um “jogo” no qual muitas áreas técnicas e de produtos são os protagonistas.

Nano e políticas públicas

Um aspecto importante da nanotecnologia está na possibilidade de sua forte interação com as políticas públicas, sobretudo nos países em desenvolvimento. Suas amplas potencialidades permitem propor novas soluções para diferentes e importantes problemas ligados à saúde, habitação, transportes, meio ambiente, saneamento básico, entre outras.

Os pontos citados vêm sendo debatidos internacionalmente, nos quais existem um grande espaço para a nanotecnologia: armazenamento, produção e conversão de energia; incremento da produtividade da agricultura; tratamento de água e poluição ambiental; diagnóstico e screening de doenças; sistemas de “entrega de fármacos” (*drug delivery*); processamento e armazenamento de alimentos; poluição do ar e remediação; materiais para construção; monitoramento da saúde humana e animal; vetores, detecção e controle de pragas.

É muito importante lançar um olhar atento para aquilo que tem sido chamado de nanogeopolítica, no sentido de utilizar da maneira mais apropriada possível nossos recursos minerais, especialmente aqueles que começam a se tornar matérias-primas cruciais para a nanotecnologia: lítio, índio, nióbio, zircônio e grafite.

Considerações finais

A nanotecnologia está sendo incorporada seletivamente aos produtos finais, especificamente na indústria aeroespacial, automotiva, tintas, fármacos, eletrônica e nanocompósitos, entre outros.

Em 2009, constatou-se um mercado efetivo ligado às inovações nanotecnológicas. A eletrônica e tecnologia da informação (TI), os microprocessadores e chips de memória construídos usando processos de nanoescala começaram a chegar ao mercado.

De 2012 em diante, a nanotecnologia se tornará comum na produção de bens manufaturados. As aplicações no tratamento médico e nas Ciências da Vida se tornarão significativas, tais como novos fármacos, dispositivos médicos e ferramentas de diagnóstico.

Finalmente, as palavras de Raj Bawa são plenamente apropriadas: “as nanotecnologias não são uma indústria, mas estarão presentes em todas as indústrias”.

Anexo 1 **Informações bibliográficas** **adicionais relacionadas com o tema**

- Bainbridge, WS (2002). Public attitudes toward nanotechnology. *J Nanopart Res* 4(6):561–570.
- Barnett J, Carr A, Cliff A (2006). Going public: risk, trust, and public understanding of nanotechnologies. In: Hunt G, Mehta M (eds.) *Nanotechnology: risk, ethics, and law*. Earthscan, London, pp 167–179.
- Berube DM (2006). *Nano-hype: the truth behind the nanotechnology buzz*. Prometheus Books, Amherst.
- Besley JC, Shanahan J (2005). Media attention and exposure in relation to support for agricultural biotechnology. *Sci Commun* 26(4):347–367.
- Cobb MD (2005). Framing effects on public opinion about nanotechnology. *Sci Commun* 27(2):221–239.
- Cobb MD, Macoubrie J (2004). Public perceptions about nanotechnology: risks, benefits, and trust. *J Nanopart Res* 6(4):395–405.
- Einsiedel EF, Goldenberg L (2006). Dwarfing the social? Nanotechnology lessons from the biotechnology front. In: Hunt G, Mehta M (eds.) *Nanotechnology: risk, ethics, and law*. Earthscan, London, pp 213–221.
- European Commission Scientific Committee on Emerging or Newly Identified Health Risks (SCENIHR), 2005. *The Appropriateness of Existing Methodologies to Assess the Potential Risks Associated with Engineered and Adventitious Products of Nanotechnologies*. European Commission, Brussels, <http://files.nanobio-raise.org/Downloads/scenih.pdf>, acessada em maio de 2010.
- European Commission, 2007. *Nanotechnology Emerging Needs*, http://cordis.europa.eu/nanotechnology/src/pressroom_projects_nmp6.htm, acessada em maio de 2010.
- Hansen SF, Tickner JA (2007). The challenges of adopting voluntary health, safety and environment measures for manufactured nanomaterials: lessons from the past for more effective adoption in the future. *Nanotechnology Law & Business Fall*. <http://www.nanolabweb.com>, acessada em maio de 2010.

Anexo 2

Documentos OCDE – Organization for Economic Co-operation and Development / Series on Safety of Manufactured Nanomaterials

- No.1 - ENV/JM/MONO(2006)19 Report of the OECD Workshop on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Building Co-operation, Co-ordination and Communication, 7-8 December 2005. [http://appli1.oecd.org/olis/2006doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2006\)19](http://appli1.oecd.org/olis/2006doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2006)19), acessada em maio de 2010.
- No. 2 - ENV/JM/MONO(2006)35 Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de table at the 1st Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 26-27 October 2006. [http://appli1.oecd.org/olis/2006doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2006\)35](http://appli1.oecd.org/olis/2006doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2006)35), acessada em maio de 2010.
- No. 3 - ENV/JM/MONO(2007)16 Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de table at the 2nd Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 25-27 April 2007. [http://appli1.oecd.org/olis/2007doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2007\)16](http://appli1.oecd.org/olis/2007doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2007)16), acessada em maio de 2010.
- No. 4 - ENV/JM/MONO(2008)2 Manufactured Nanomaterials: Programme of Work 2006-2008. [http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2008\)2](http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2008)2), acessada em maio de 2010.
- No. 5 - ENV/JM/MONO(2008)7 Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de Table at the 3rd Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 28-30 November 2007. [http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2008\)7](http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2008)7), acessada em maio de 2010.
- No. 6 - ENV/JM/MONO(2008)13/REV List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for Phase One of the OECD Testing Programme. [http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2008\)13-rev](http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2008)13-rev), acessada em maio de 2010.
- No. 7 - ENV/JM/MONO(2008)29 Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de Table at the 4th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 11-13 June 2008. [http://www.olis.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2008\)29](http://www.olis.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2008)29), acessada em maio de 2010.

- No. 8 - ENV/JM/MONO(2009)6 Preliminary Analysis of Exposure Measurement and Exposure Mitigation in Occupational Settings: Manufactured Nanomaterials. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)6](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)6), acessada em maio de 2010.
- No. 9 - ENV/JM/MONO(2009)10 EHS Research Strategies on Manufactured Nanomaterials: Compilation of Outputs. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO\(2009\)10](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO(2009)10), acessada em Maio de 2010.
- No. 10 - ENV/JM/MONO(2009)15 Identification, Compilation and Analysis of Guidance Information for Exposure Measurement and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO\(2009\)15](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO(2009)15), acessada em maio de 2010.
- No. 11 - ENV/JM/MONO(2009)16 Emmission Assessment for Identification of Sources and Release of Airborne Manufactured Nanomaterials in the Workplace: Compilation of Existing Guidance. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO\(2009\)16](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO(2009)16), acessada em maio de 2010.
- No. 12 - ENV/JM/MONO(2009)17 Comparison of Guidance on Selection of Skin Protective Equipment and Respirators for Use in the Workplace: Manufactured Nanomaterials. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO\(2009\)17](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/ENV-JM-MONO(2009)17), acessada em maio de 2010.
- No. 13 - ENV/JM/MONO(2009)18 Report of an OECD Workshop on Exposure Assessment and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)18](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)18), acessada em maio de 2010.
- No. 14 - ENV/JM/MONO(2009)20 Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD's Sponsorship Programme. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)20](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)20), acessada em maio de 2010.
- No. 15 - ENV/JM/MONO(2009)21 Preliminary Review of OECD Test Guidelines for their Applicability to Manufactured Nanomaterials. [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)21](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)21), acessada em maio de 2010.
- No. 16 - ENV/JM/MONO(2009)22 Manufactured Nanomaterials: Work Programme 2009- 2012 . [http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)22](http://www.olis.oecd.org/olis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)22), acessada em maio de 2010.
- No. 17 - ENV/JM/MONO(2009)23 Current Developments in Delegations and other International Organisations on the Safety of Manufactured

Nanomaterials- Tour de Table. [http://www.oalis.oecd.org/oalis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)23](http://www.oalis.oecd.org/oalis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)23), acessada em maio de 2010.

No. 18 - ENV/JM/MONO(2009)24 Manufactured Nanomaterials: Road-map for Activities during 2009 and 2010. [http://www.oalis.oecd.org/oalis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2009\)34](http://www.oalis.oecd.org/oalis/2009doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2009)34), acessada em maio de 2010.

OECD. Working Party on Manufactured Nanomaterials: 6th meeting Sponsorship Programme for the Testing of Manufactured Nanomaterials. http://www.oecd.org/document/50/0,3343,en_2649_37015404_42059634_1_1_1_1,00.html, acessada em maio de 2010.

Anexo 3

Documentos CORDIS – European Community Nanotechnology / Safety Aspects

EU nanotechnology R&D; in the field of health and environmental impact of nanoparticles an overview of projects under this field - January 2008. <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/final-version.pdf>, acessada em maio de 2010.

EU nanotechnology research Safety keeping pace with innovation European Commission leaflet with a project showcase on safety issues in nanotechnology, July 2005. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/leaflet_nano_safety.pdf, acessada em maio de 2010.

Nano and the Environment Report of the Brussels workshop, 30/31 March 2006, published on Nanoforum (www.nanoforum.org). The workshop had been organised in order to contribute to the definition of the Commission's research activities in the field of nano and the environment. http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~383~.html?action=longview_publication&, acessada em maio de 2010.

Proceedings of the 'Workshop on research on the safety of nanomaterials: reviewing the knowledge gaps. Brussels on 17-18 April 2008 This report should help sharing the information exchanged at the meeting and finding the scientific support needed to ensure that nanotechnologies are developed and used in a safe and responsible way. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/final_report.pdf, acessada em maio de 2010.

Report on European activities in the field of ethical, legal and social aspects (ELSA) and governance of nanotechnology This report presents figures on EC funding and a short description of all EC funded projects in the field, other activities related to information and outreach, ethics and governance on EU level, and examples of national activities in Europe, 1 October 2008. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/elsa_governance_nano.pdf, acessada em maio de 2010.

Research Needs on Nanoparticles Proceedings of the Workshop held in Brussels on 25-26 January. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/proceedings_nano_particles_workshop.zip, acessada em maio de 2010.

Results of the informal collection of inputs for nanotechnology R&D; in the field of (eco)toxicology: The data gathered with this open consultation provide information valuable to set priorities for research on health and safety aspects of nanotechnology. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/inputs_nanoecotox.pdf, acessada em maio de 2010.

Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products: The Scientific Committee on Consumer Products (SCCP) of European Commission's DG Health and Consumer Protection currently develops a Scientific opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_sccp/sccp_call_info_01_en.htm, acessada em maio de 2010.

The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies': Scientific opinion of the Scientific Committee in Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), managed by EC's Directorate General Health and Consumer Protection. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/risk_en.htm, acessada em maio de 2010.

The appropriateness of the risk assessment methodology in accordance with the Technical Guidance Documents for new and existing substances for assessing the risks of nanomaterial: Public consultation on SCENIHR Opinion. Deadline is 23 May 2007. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/scenihr_cons_04_en.htm acessada em maio de 2010.

The European Group on Ethics in Science and New Technologies - EGE of the Bureau of European Policy Advisers (BEPA) is currently drafting an opinion on the ethical aspects of nanomedicine. http://ec.europa.eu/european_group_ethics/index_en.htm, acessada em maio de 2010.

Anexo 4

Documentos EPA – Environmental Protection Agency EUA e NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health EUA

Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-125/>, acessada em maio de 2010.

EPA Nanotechnology White Paper, February 2007 (PDF), describes why EPA is interested in nanotechnology across its programs, the Agency's statutory mandates, and risk assessment issues specific to nanotechnology across media. <http://www.epa.gov/osa/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>, acessada em maio de 2010.

Federal Register Notice regarding the TSCA Inventory status of carbon nanotubes, October 31, 2008. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-TOX/2008/October/Day-31/t26026.htm>, acessada em maio de 2010.

Interim Ad Hoc Work Group on Nanoscale Materials, National Pollution Prevention and Toxics Advisory Committee Overview Document (PDF). <http://www.epa.gov/oppt/npptac/pubs/nanowgoverviewdraft050921finalv2.pdf>, acessada em maio de 2010.

Toxic Substances Control Act (TSCA). TSCA Chemical Substances Inventory. <http://www.epa.gov/oppt/newchems/pubs/inventory.htm>, acessada em maio de 2010.

TSCA Inventory Status of Nanoscale Substances – General Approach (2008) (PDF) <http://www.epa.gov/oppt/nano/nmsp-inventorypaper2008.pdf>, acessada em maio de 2010.

Anexo 5

Documentos ISO – International Organization for Standartisation

Artificial gratings used in nanotechnology -- Description and measurement of dimensional quality parameters. ISO/NP TS 13126. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53012, acessada em maio de 2010.

Carbon nanotubes -- Determination of metal impurities in carbon nanotubes (CNTs) using inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). ISO/NP TS 13278. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53615, acessada em maio de 2010.

Determination of mesoscopic shape factors of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) ISO/AWI TS 11888. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50969, acessada em maio de 2010.

Guidelines for occupational risk management applied to engineered nanomaterials based on a “control banding approach”. ISO/NP TS 12901-2. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53375, acessada em maio de 2010.

Measurement methods for the characterization of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs). ISO/CD TR 10929. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46424, acessada em maio de 2010.

Nanomaterials -- General framework for determining nanoparticle content in nanomaterials by generation of aerosols. ISO/CD 12025. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51162, acessada em maio de 2010.

Nanomaterials - Guidance on specifying nanomaterials. ISO/AWI TS 12805. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51766, acessada em maio de 2010.

Nanomaterials -- Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS) ISO/NP TR 13329. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53705, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing. ISO/DIS 10808. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46130, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems -- Limulus amoebocyte lysate (LAL) test. ISO/DIS 29701. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=45640, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Guidance on methods for nanotribology measurements ISO/AWI TR 11811. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50835, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Guidance on nanoparticle measurement methods and their limitations. ISO/AWI TR 11808. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50834, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies - Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment. ISO/AWI TR 13014. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52334, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Guidance on safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. ISO/AWI TS 12901-1. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52125, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies. ISO/TR 12885:2008. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52093, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Nano-calcium carbonate -- Part 1: Characte-

ristics and measurement methods. ISO/AWI TS 11931-1. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52825, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Nano-calcium carbonate -- Part 2: Specifications in selected application areas. ISO/NP TS 11931-2. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52826, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies - Nanomaterial Risk Evaluation Framework. ISO/AWI TR 13121. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52976, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Nano-titanium dioxide -- Part 1: Characteristics and measurement methods. ISO/AWI TS 11937-1. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52827, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Nano-titanium dioxide -- Part 2: Specifications in selected application areas. ISO/NP TS 11937-2. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52828, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects - - Nanoparticle, nanofibre and nanoplate. ISO/TS 27687:2008. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44278, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Use of evolved gas analysis-gas chromatograph mass spectrometry (EGA-GCMS) in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs). ISO/CD TS 11251. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50339, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Use of Raman spectroscopy in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs). ISO/AWI TS 10812. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50415, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Use of thermo gravimetric analysis (TGA) in the purity evaluation of single-walled carbon nanotubes (SWCNT) ISO/

AWI TS 11308. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50357, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Initial framework model for core concepts. ISO/DTR 1280230. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51765, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 1: Core terms. ISO/DTS 80004-131. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51240, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 3: Carbon nano-objects ISO/TS 80004-3:201032. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50741, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 4: Nanostructured materials ISO/AWI TS 80004-433. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52195, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 5: Bio/nano interface ISO/AWI TS 80004-534. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51767, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 6: Nanoscale measurement and instrumentation. ISO/AWI 80004-635. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52333, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 7: Medical, health and personal care applications ISO/AWI TS 80004-736. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=51962, acessada em maio de 2010.

Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 8: Nanomanufacturing ISO/NP TS 80004-837. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52937, acessada em maio de 2010.

Nanotubes -- Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray analysis (EDXA) in the characterization of single walled carbon nanotubes (SWCNTs). ISO/CDTS 10798. http://www.iso.org/iso/iso_

catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46128, acessada em maio de 2010.

Nanotubes -- Use of NIR-Photoluminescence (NIR-PL) Spectroscopy in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs). ISO/CD TS 10867. http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46245, acessada em maio de 2010.

Nanotubes -- Use of transmission electron microscopy (TEM) in walled carbon nanotubes (SWCNTs). http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=46127, acessada em maio de 2010.

Nanotubes - Use of UV-Vis-NIR absorption spectroscopy in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs) ISO/CD TS 10868. http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=46247, acessada em maio de 2010.

Anexo 6

Programas e projetos ligados à nanosegurança de nanomateriais

ASTM International (2006) ASTM E 2456–06. Terminology for nanotechnology. <http://www.astm.org>, acessada em maio de 2010.

Berkeley, California, Nanotechnology Disclosure Ordinance. [http://www.ci.berkeley.ca.us/uploadedFiles/Planning_\(new_site_map_walk-through\)/Level_3_-_General/Manufactured%20Nanoscience%20Materials.pdf](http://www.ci.berkeley.ca.us/uploadedFiles/Planning_(new_site_map_walk-through)/Level_3_-_General/Manufactured%20Nanoscience%20Materials.pdf), acessada em maio de 2010.

Development of methodology for alternative testing strategies for the assessment of the toxicological profile of nanoparticles used in medical diagnostics. NanoTEST – EC FP7 project. Supported by EC FP7 [Health-2007-1.3-4], Contract no: 201335, acessada em maio de 2010.

European policy in Nanosafety. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/ev_20081002_en.htm, acessada em maio de 2010.

International Coalition on Nanotechnology (ICON) nano EHS Virtual Journal. <http://www.icon.rice.edu/virtualjournal.cfm>, acessada em maio de 2010.

Managing the health and safety risks of working with nanomaterials in CSIRO laboratories, Australia. www.csiro.au/science/nanosafety.html, acessada em maio de 2010.

NanoImpactNet - European network on the health and environmental impact of nanomaterials. www.nanoimpactnet.eu. Oregon State Nanomaterial-Biological Interactions Knowledgebase. <http://www.oregonstate.edu/nbi/pages/>, acessada em maio de 2010.

NANOINTERACT: A rational approach to the interaction between nanoscale materials and living matter? www.nanointeract.net, acessada em maio de 2010.

PARTICLE_RISK: Risk assessment of exposure to particles from new and emerging science and technology (NEST). www.iom-world.org/research/particle_risk.php, acessada em maio de 2010.

Project on Emerging Nanotechnologies (PEN) Web. <http://www.nanotechproject.org/>, acessada em maio de 2010.

SafeNano Web site. <http://www.safenano.org/>, acessada em Maio de 2010. SAPHIR Safe NanoManufacturing: Safe, Integrated & controlled production of high-tech multifunctional materials and their recycling. www.saphir-project.eu, acessada em maio de 2010.

Strategy of Québec and Canada: the mission of NanoQuébec. <http://nanoquebec.ca>, acessada em maio de 2010.

The DIPNA project: a platform for the nanotoxicological investigations. www.dipna.net, acessada em maio de 2010.

The NanoCare project: a German initiative on health aspects of synthetic nanoparticles. www.nanopartikel.info, acessada em maio de 2010.

University of Wisconsin's Nanoscale Science & Engineering Center Nanotechnology Risk Resource Web site. <http://www.nsec.wisc.edu/NanoRisks/NS-NanoRisks.php>, acessada em maio de 2010.

Anexo 7

Equipamentos comerciais para a produção segura e uso de nanomateriais

CORDOUAN Technologies: Solutions for particle size measurements in dispersion: the DL135. www.cordouan-tech.com, acessada em maio de 2010.

Grimm Aerosol Technik GmbH, ECOMESURE: New methods and standards for fine dust monitoring. www.grimm-aerosol.com / www.ecomesure.com, acessadas em maio de 2010.

JACOMEX - designs, manufactures and commercialises glove boxes, isolators and inert gas purification systems. <http://www.jacomex.com/gb/>, acessada em maio de 2010.

Nanosight: Systems For characterisation of nanoparticle dispersions. www.nanosight.co.uk, acessada em maio de 2010.

Philips Aerasense: Monitoring of airborne nano particles at industrial workplaces by means of a portable device will enable strategies to reduce exposure levels and improve the health and safety of workers. www.aerasense.com, acessada em maio de 2010.

Sperian Protection Clothing. www.sperianprotection.com, acessada em maio de 2010.

TSI: Measurement, monitoring and exposure assessment of nanoparticles. www.tsi.com, acessada em maio de 2010.

