

NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: ASPECTOS GERAIS, APLICAÇÕES E PERSPECTIVAS NO CONTEXTO DO BRASIL

Nanotechnology and nanoscience: general aspects, applications and perspectives in the context of Brazil.

Glauciene Paula de Souza Marcone*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *campus*
Realengo, RJ.

*Autor para correspondência: glauciene.marcone@ifrj.edu.br

RESUMO

Com o advento da nanotecnologia, observa-se atualmente mudanças relacionadas à utilização de dispositivos e materiais em pequena escala. Essas mudanças são evidentes quando se compra dispositivos eletrônicos cada vez menores e eficientes, máquinas de lavar, secadores de cabelo, aparelhos de ar condicionados e roupas com propriedades bactericidas, ou ao consumir cosméticos com o prefixo “nano”. De fato, o número de produtos que utilizam algum tipo de nanomaterial (NM) tem aumentado a cada ano e de maneira acelerada. Desta forma, este trabalho tem o objetivo de mostrar um breve histórico sobre o surgimento da nanociência e nanotecnologia (N&N), os principais tipos de nanomateriais e suas aplicações. Além disso, aborda aspectos científicos, econômicos e indica questões relacionados às potencialidades acerca desta tecnologia no contexto global e do Brasil.

Palavras chave: nanomaterial, nanociência, nanotecnologia.

ABSTRACT

With the advent of the nanotechnology, currently observed changes related to the use of devices and materials on a small scale. These changes are evident when buying up electronic devices smaller and efficient, washing machines, hair dryers, air conditioners and clothes with bactericidal properties, or consume cosmetics with the "nano" prefix. In fact, the number of products that use some type of nanomaterial (NM) has increased every year and at an accelerated pace. Thus, this paper aims to show a brief history about the emergence of nanoscience and nanotechnology (N & N), the main nanomaterials types and their applications. Furthermore, it addresses scientific, economic and indicates issues related to the potential on this technology in the global and Brazil context.

Keywords: nanomaterial, nanoscience, nanotechnology.

INTRODUÇÃO

Antes de surgir o conceito de nanotecnologia e nanociência (N&N), a primeira vez que se ouviu falar sobre o modo de manipulação atômica foi em 1959, em um encontro da American Physical Society, (em Pasadena, EUA), no qual físico americano Richard Feynman, na qual provocou os presentes com a clássica frase: “Há muito espaço lá embaixo”, referindo-se à possibilidade de se escrever a oração do “Pai nosso” na cabeça de um alfinete, ou até mesmo uma enciclopédia inteira. Mas como isto seria possível? Era o questionamento da época. A resposta era muito simples, porém dependia de técnicas avançadas de microscopia eletrônica, com as quais fosse possível manipular átomos e moléculas, de modo que fossem obtidos arranjos nanométricos (TOMA, 2004; *THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING*, 2004). Anos mais tarde, o conceito “nano” aplicado à tecnologia, foi inserido por Norio Taniguchi, em 1974 quando tornou-se possível a obtenção e materiais a nível nanométrico. Com a evolução dos microscópios de sonda, os engenheiros da IBM, Don Eigler e Erhard Schweizer, conseguiram em 1989 escrever o logotipo da empresa com 35 átomos de xenônio, através da microscopia de varredura de sonda (TOMA, 2004; *THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING*, 2004; MELO & PIMENTA, 2004). Deste modo, tornou-se possível a manipulação de sistemas na escala nanométrica, surgindo então os nanomateriais (NM) que compõem a nanociência e a nanotecnologia, gerando produtos cada vez mais presentes no cotidiano das pessoas.

O prefixo “nano” refere-se à escala de medida cuja grandeza é o nanômetro (nm), que corresponde a um bilionésimo do metro, 10^{-9} m. Na Figura 1, observa-se que na escala de 1 Å a 100 nm, encontram-se o comprimento da ligação química, a largura da molécula de DNA que corresponde a cerca de 10 átomos de H enfileirados (2 nm) e a molécula de proteína. Na escala micrométrica estão as estruturas de vírus, bactérias e hemácias.

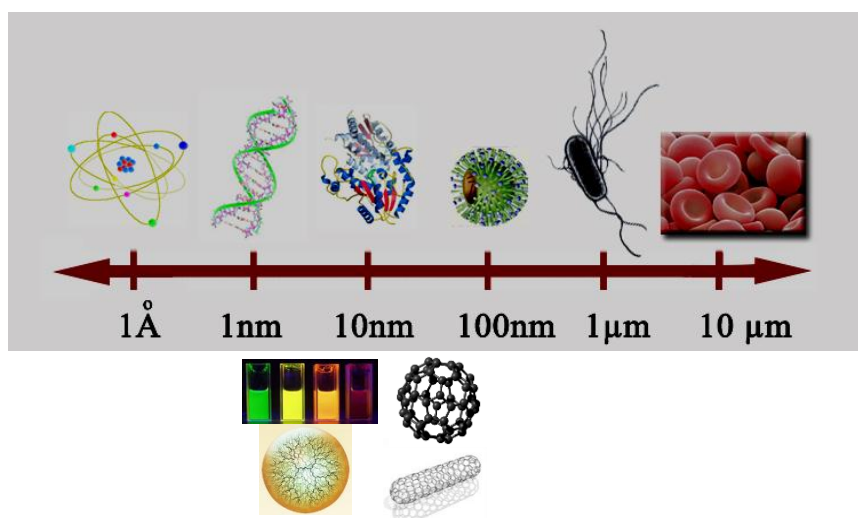


Figura 1. Comparação de tamanho entre estruturas na escala manométrica e micrométrica.
Fonte: <http://munlait.wordpress.com/category/biotecnologia/page/3/>.

São denominados nanomateriais (NM), os materiais que apresentem pelo menos uma dimensão na escala manométrica, que varia entre 1 a 100 nm. Desta forma, ao comparar os exemplares da Figura 1, os nanomateriais tais como o fulereno (C_{60}), nanotubos de carbono, pontos quânticos e dendrímeros se enquadram na faixa de 1-100 nm, correspondendo à faixa de tamanho de proteínas e vírus. Por outro lado, os NM são cerca de 1000 a 10.000 vezes menores que micro organismos como a bactéria *E. coli* e as células do sangue. A Tabela 1 relaciona o tamanho de alguns materiais nanométricos com àqueles na escala nano e micrométrica (ABDI 2010a; TOMA 2004; ZARBIN, 2007).

Tabela 1. Exemplares na faixa de escala entre 0,1 nm a 10.000 nm e nanomateriais na faixa de 1 a 100 nm. (Adaptado de ABDI 2010a; WILCZEWSKA, 2012)

Estruturas de tamanho de 0,1 a 10.000 nm	Nanopartículas de 1 a 100 nm
Átomo de Hidrogênio: 0,1	Fulerenos: 1
DNA: 2	Quantum Dots: 8
Proteínas: 5-50	Dendrímeros: 10
	Nanotubos: 1-5 (diâmetro)
Vírus	45-100
Bactérias	1.000-10.000
Células	10.000

A nanociência diz respeito ao estudo dos fenômenos que envolvem a manipulação de materiais na escala atômica, molecular e macromolecular que diferem significativamente dos materiais em larga escala. A nanotecnologia engloba a produção, caracterização e aplicação dos nanomateriais, cujas características ligadas à forma e tamanho estão na escala manométrica (*THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING*, 2004; ŞENGÜL *et al.*, 2008).

Deste modo, a nanotecnologia e a nanociência (N&N) envolvem o entendimento e o controle da matéria que apresenta pelo menos uma dimensão na escala de 1 a 100 nm e que tem possibilitado novas aplicações quando comparada ao material sólido massivo (do inglês *bulk*), devido às suas propriedades químicas e físicas (FEDERICI *et al.* 2007; NOWACK *et al.* 2007; ZARBIN 2007).

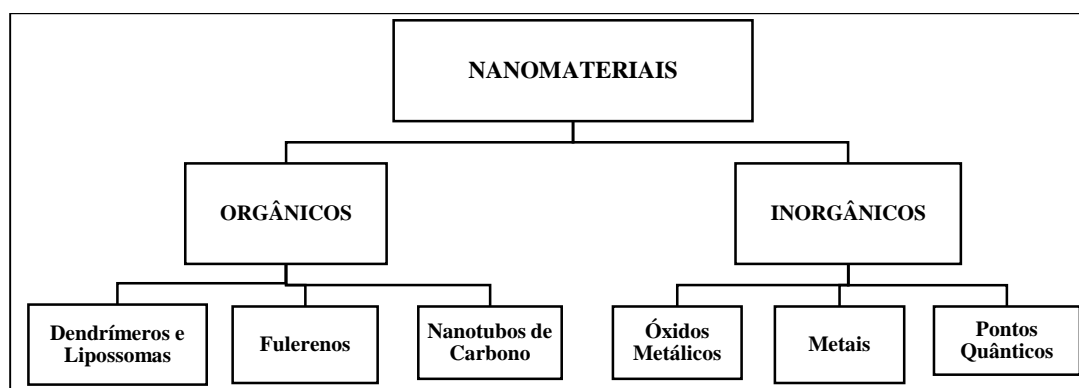
Neste contexto, o objetivo desta breve revisão da literatura, é indicar um panorama acerca dos principais tipos de nanomateriais, suas aplicações, além de abordar aspectos científicos e econômicos no contexto mundial e do Brasil, de modo a observar as potencialidades da nanotecnologia.

NANOMATERAIS

A obtenção de um nanomaterial específico envolve dois processos distintos, denominados *top-down* (de cima para baixo) ou *botton-up* (de baixo para cima). Destaca-se como método *up-down* mais comum, a litografia, que consiste em um processo à seco que utiliza a luz para fazer gravações de padrões, como por exemplo a confecção de chips. Já os métodos *botton-up* baseiam-se na auto-organização do sistema, a partir de átomos e moléculas no sentido da estabilidade. Estes métodos ocorrem com a utilização de solventes, através de sínteses que utilizam métodos químicos, físicos ou biológicos para a obtenção do nanomaterial de interesse (ŞENGÜL *et al.*, 2008; TOMA 2004; ABDI 2010a; MONGE, 2010).

De forma geral os NM são classificados como, orgânicos e os inorgânicos (Quadro 1). Dentre os principais NM orgânicos destacam-se os nanotubos de carbono de parede simples e de parede dupla e o fulereno (C₆₀).

Com relação aos óxidos metálicos, o TiO_2 tem ampla aplicação, assim como os metais, tais como as nanopartículas de prata e ouro. Os pontos quânticos (*quantum dots*) têm sido utilizados como nanomarcadores biológicos (FARRÉ *et al.* 2009; JU-NAM & LEAD 2008; PERALTA-VIDEA *et al.* 2011) e as nanopartículas poliméricas, lipídicas e dendrímeros, são aplicados na área farmacêutica (SAHOO, 2003; PARVEEN, 2012; WILCZEWSKA, 2012; FAHNING & LOBÃO, 2011).



Quadro 1 – Classificação dos nanomateriais de acordo com suas propriedades físico químicas. Adaptado de PERALTA-VIDEA *et al.* 2011.

Além disso, diversos tipos de nanomateriais, são classificados de acordo com as suas propriedades físicas e químicas, sendo alguns dos NM mais estudados, nanotubos de carbono, semicondutores, os metálicos e os de interesse farmacêutico, a saber:

Nanotubos de carbono: São materiais que apresentam a mais alta resistência mecânica já observada, bem como alta capilaridade, tendo estrutura eletrônica única. Desde o seu surgimento em 1991 até os dias atuais e, em ritmo acelerado (IJJIMA, 1991), são realizados estudos de viabilidade das condições de purificação e isolamento, caracterização e manipulação e resíduos de produção. A rota para sua síntese encontra-se em fase de consolidação e potenciais aplicações dos nanotubos são extensas, incluindo dispositivos para armazenamento e conversão de energia, semicondutores, sensores, armazenamento de hidrogênio, como aditivos para materiais poliméricos, suporte em processos catalíticos, dentre outras (HERBST *et al.*, 2004).

Em particular, o uso de nanotubos para armazenamento de hidrogênio, tem causado muita discussão e controvérsias (KAJIURA *et al.*, 2003). Vários estudos apontam a aplicação de nanotubos tanto na área ambiental quanto na biotecnologia. LONG *et al.* (2001) usaram nanomaterias adsorventes para remoção de NO_x sob baixa pressão; LI *et al.* (2002) observaram a alta eficiência de adsorção na remoção de chumbo em meio aquoso e WAGNER *et al.* (1998) desenvolveram tecnologias de biosensores e bioreatores (WAGNER *et al.*, 1998; MOSER, 1972).

Semicondutores: Constitui uma classe de novos materiais, na qual se destacam os pontos de quantum e dióxido de titânio, TiO₂. Os pontos quânticos de sulfeto de cádmio (ZHANG *et al.*, 2006), que têm sido alvo de estudos que levam à compreensão da correlação entre sua estrutura e energia (FARIAS *et al.*, 2005a), bem como estudos que propõem sintetizar por uma técnica mais simples, nanocristais semicondutores luminescentes de hidróxido de cálcio/sulfeto de cádmio, altamente estáveis para identificar antígenos em células do sangue (FARIAS *et al.*, 2005b).

Pontos de quantum de CdTe/CdS também são sintetizados para aplicação fotônica (MENEZES *et al.*, 2005), nas áreas de microeletrônica e biomarcadores fluorescentes (ALIVISATOS, 1996; CASTRO *et al.*, 2004), que possibilitam a liberação controlada de fármaco durante o tratamento clínico, melhorando o controle e a administração de drogas (SAHOO & LABHASETWAR, 2013).

Nanopartículas de TiO₂ têm sido aplicadas em ciências biomédicas como marcadores biológicos (XU *et al.*, 1998), em celas solares fotoeletroquímicas (ZABAN, *et al.*, 1998), na área ambiental no tratamento de água e remediação por degradação fotocatalítica de nutrientes (ELLIOTT & ZHANG, 2001; KAMAT *et al.*, 2002) e na purificação de ar (CHEN *et al.*, 2005; TOMA, 2005).

Além dos nanotubos constituídos por carbono, estes materiais podem conter, nitrito de boro e óxidos de metal como o TiO_2 , apresentando os nanocompósitos de TiO_2 com atividades semicondutoras (JITIANU *et al.*, 2004). Por apresentarem espaços internos vazios, os nanotubos semicondutores podem ser preenchidos por combinações químicas, enzimas, e metais nobres, proporcionando a este tipo de material, aplicações em fotocatalise (BAHNEMANN *et al.*, 2002), sensores e LED (*Light Emitting Diodes*) (CHEN *et al.*, 2005).

Nanoprata: Consiste em aglomerados de átomos de prata metálica, que podem ter de e podem ter diferentes formas (cilíndrica, esférica, bastonete, prisma) e tamanho, aproximadamente de 5-100 nm, dependendo do grau de aglomeração. A forma e o tamanho são determinantes para a sua aplicação, que tem sido principalmente como antimicrobiano, podendo ser encontrada em aspiradores de pó, lavadoras de roupa, materiais médicos, filtros de ar, em embalagens para armazenar alimentos, em meias, e em outros produtos têxteis (XING *et al.*, 2007; DURÁN *et al.* 2010; FORTNER *et al.* 2005; WIJNHOFEN *et al.* 2009; LU, 2015).

Drugs delivery system ou Sistema de liberação de drogas (fármacos): constituem os sistemas nanoestruturados contendo fármacos que serão liberados no organismo de forma controlada e específica. De forma geral, a função de um nanossistema de liberação de fármaco é no encapsulamento de princípios ativos que são utilizados no tratamento de doenças ou no seu diagnóstico. Estes por sua vez, são mais eficientes que os sistemas de encapsulação convencionais, pois ao possuir menor tamanho facilita a sua administração por várias vias (oral, nasal, pulmonar e transcutânea) e liberação no organismo. Outras vantagens estão associadas à proteção da droga da degradação, aumento da sua solubilidade e biodisponibilidade, bem como minimizar possíveis efeitos tóxicos da droga. (SAHOO & LABHASETWAR, 2003; PARVEEN, 2012; WILCZEWSKA, 2012; FAHNING & LOBÃO, 2011; POHLMANN, 2013). Como exemplo, citamos as nanopartículas cerâmicas, lipídicas e poliméricas, lipossomas, os dendrímeros e as ciclodextrinas. (SAHOO & LABHASETWAR, 2003; ALVES *et al.*, 2008; POHLMANN, 2013). O Quadro 2 indica a ilustração, característica principal dos nanomateriais aplicados à obtenção de um fármaco nanoestruturado.

Quadro 2 – Ilustração, característica principal dos nanomateriais aplicados à obtenção de fármacos nanoestruturados. Fontes: SAHOO & LABHASETWAR, 2003; PARVEEN, 2012; WILCZEWSKA, 2012; FAHNING & LOBÃO, 2011; ROSSI-BERGMANN, 2008.

Nanomaterial	Ilustração	Característica	Indicação/ (Medicamento)
Lipossomas	 80-300 nm	Estruturas fechadas tipo concha esférica, formadas a partir de lipídios anfipáticos, que se organizam espontaneamente.	Auxiliar no tratamento do Câncer (Doxorrubicina) Tratamento do câncer/ (Myocet® e DaunoXome®) Tratamento de micoses e leishmaniose visceral/ (Anfotericina B)
Nanopartículas magnéticas	 10-300 nm	Partículas esféricas podem ser recobertas com dendrímeros, silano, ouro ou polímeros hidrofílicos. O fármaco pode ser encapsulado na casca ou no interior. Exemplos de metais: Co, Mn, Fe e Ni e seus óxidos.	Imunodiagnósticos/ (Separação clínica de células) Antibióticos/(Ciprofloxacina) Quimioterápico/(Gemcitabine)
Nanopartículas lipídicas sólidas; Nanoemulsões	 80-300 nm	São misturas complexas, onde o núcleo é denso, devido à mistura de glicérides ou triglicérides estabilizadas por surfactantes.	Osteoporose/ (Indaflex)
Nanopartículas poliméricas	 10-100 nm	Nanoesferas (o fármaco está solubilizado no interior, sendo o núcleo a matriz polimérica) ou nanocápsulas (o fármaco está envolvido pela matriz polimérica). Ex. de polímeros utilizados na síntese das NP: poliacrilamida e poliacrilato; albumina, quitosana, DNA e gelatina.	Antineoplásico, câncer de pulmão/ (Carboplatin) Tratamento de câncer de cólon/ (5-Fluorouracil, 5-FU) Quimioterapia/ (Nanoxel) Quimioterapia/ (Abraxane)
Dendrímeros	 1-10 nm	Dendrímeros são macromoléculas (polímeros ramificados) com tamanho e estruturas bem definidas. Podem ter a superfície funcionalizada por diferentes grupos ativos, o que gera ligações específicas com drogas de interesse.	Tratamento câncer Antiinflamatório/ (Ibuprofeno e piroxicam)

Além disso, os princípios ativos podem estar associados a outros tipos de nanopartículas, tais como, fulerenos ou nanotubos de carbono, nanopartículas metálicas, tais como o Au e a Ag, ou magnéticas, como o Fe, que geram os “ferrofluids”, e os *Quantum Dots*, aplicados também na área de diagnóstico (SAHOO & LABHASETWAR, 2003; PARVEEN, 2012; WILCZEWSKA, 2012).

Seja para viabilizar a obtenção ou a aplicação de um nanomaterial, observa-se que a nanotecnologia e nanociência apresenta uma multidisciplinaridade intrínseca, pois envolve a interligação de grande áreas da ciência como a química, biologia, física, medicina, engenharia e informática, com o principal intuito de entender e potencializar as aplicações desta tecnologia.

Pelo exposto, observa-se que em decorrência do tamanho as propriedades ópticas, elétricas, de transporte, magnéticas, catalíticas e mecânicas dos NM, podem ser drasticamente diferentes quando compradas ao material sólido massivo. Desta forma, os NM estão sendo aplicados em vários setores, como o de energia, iluminação, automobilístico, de embalagens, cosméticos, tecidos, fármacos e esportivo. Por viabilizarem produtos finais mais leves, eficientes e principalmente de baixo custo, muitos produtos contendo NM encontram-se em fase de comercialização em cosméticos, eletrodomésticos, vestimentas, fármacos, dentre outros (ABDI 2010a; ZARBIN, 2007; MOTTA, 2010).

Produção Científica e investimentos em N&N: aspectos globais e do Brasil

Uma análise da produção científica (na maioria artigos) mundial envolvendo a N&N dos últimos 25 anos, indica claramente a evolução desta tecnologia. De acordo com a Figura 2a, observa-se que ocorreu um crescimento exponencial do número de trabalhos entre 1991 e 2015. Observa-se que de 1991, quando foi publicado o primeiro estudo acerca dos nanotubos de carbono, a 1995, foram publicados por volta de 167 trabalhos, enquanto que nos últimos cinco anos, ou seja, entre 2000 e 2015, a produção científica ultrapassou 113.000 trabalhos. Das áreas de maior interesse (Figura 2.b) destacam-se os periódicos ligados especificamente à ciência dos materiais (52%), que inclui a química, física e eletroquímica, seguidos das revistas que têm foco específico na nanotecnologia (18%) e nas ciências aplicadas (11%). Nota-se que

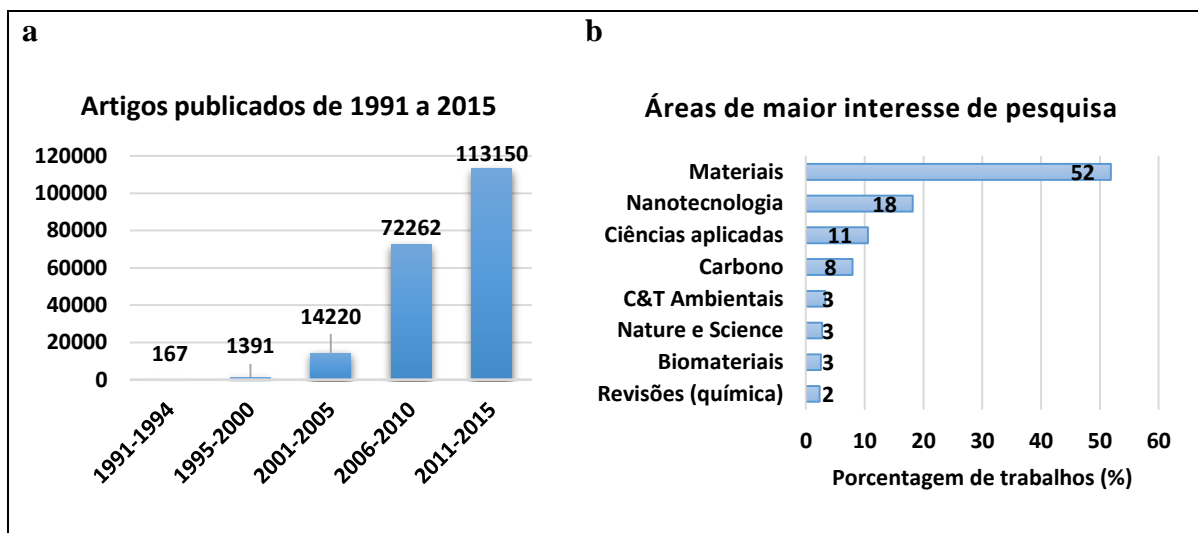


Figura 2. Gráficos de produção científica. **a)** Número de trabalhos publicados de 1991 a 2015 envolvendo nanomateriais e **b)** Áreas de maior interesse da pesquisa. Pesquisa bibliográfica realizada com as palavras-chaves: *nanomaterials* OR *nanoparticles*.

os periódicos que têm foco no carbono, são cerca de 8%, o que denota principalmente o estudo dos nanotubos de carbono e a versatilidade nas suas aplicações. Com menor número de periódicos estão as áreas de ciência e tecnologia ambiental e a de biomateriais, ambas com 3%, uma vez que estas áreas têm sua evolução dada nos últimos 10 anos, pois contempla na maioria dos casos, aplicação de nanomateriais conhecidos. Destacam-se ainda o número de trabalhos publicados em revistas de maior expressividade científica, tais como *Nature* e *Science* (3%), bem como os artigos de revisão ligados à área da química (2%).

Segundo um estudo sobre um panorama da nanotecnologia no Brasil e no mundo, realizado em 2008 pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2010b), foi observado que os principais países responsáveis pelas publicações científicas entre 1996 e 2006 são EUA, seguidos da China, Japão e países europeus. Contudo, países como a Coreia, Taiwan e Índia têm avançado nas pesquisas, assim como no Brasil, o qual está na 25^o posição em número de trabalhos produzidos, quando da realização do estudo.

A evolução encontrada no número de publicações envolvendo N&N reflete os investimentos aplicados, principalmente por países da Europa, Estados Unidos e Japão. Neste sentido, de 2000 a 2003, os investimentos mundiais em N&N foi de aproximadamente, U\$ 2 bilhões, ao passo que em 2008 este montante ultrapassou os U\$ 8 bilhões (MOTTA, 2010) e a tendência foi aumentar até os dias atuais. Embora os investimentos do Brasil em pesquisa e desenvolvimento (P&D) no Brasil em N&N, comparados aos aplicados por países desenvolvidos, este mesmo panorama de crescimento entre o número de publicações e de investimentos é observado no Brasil.

A partir do início do programa para o desenvolvimento e disseminação das nanociências em 2000, até 2007 cerca de R\$ 320 milhões, sendo deste total R\$ 160 milhões, investidos pelo governo e o restante pelo setor privado.

A estrutura do Brasil quanto à pesquisa em N&N iniciou em 2000 com a implementação de quatro redes, denominadas (Nanobiotec, Nanomat, Renami e Nanosemimat), as quais foram fomentadas pelo MCT-CNPq (Ministério da Ciência e Tecnologia – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e organizadas de modo a envolver profissionais de diferentes formações dispostos em instituições de ensino e pesquisa e em empresas. Em seguida, em 2001 com o intuito de promover o desenvolvimento, difusão e a consolidação da pesquisa em N&N no país foram criados os Institutos do Milênio: Institutos do Milênio de Materiais Complexos, Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica e o Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos.

Provavelmente, impulsionados pelos resultados obtidos pelos Institutos do Milênio e pelas redes quanto à produção científica (mais de 1000 artigos) de patentes depositadas (cerca de 100), em 2003, foi implantado o Programa “Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia” (ABDI,2010b; FERREIRA, 2013), no âmbito do Plano Plurianual 2004-2007 (MPOG, 2003), aprovado pelo congresso Nacional em 2003, que tem tinha o objetivo de aumentar a competitividade da indústria nacional, através de novo processos e produtos da nanotecnologia.

Com esta iniciativa foi possível garantir recursos e fortalecer as redes e os Institutos do Milênio. Adicionalmente, foi criada a Rede Renanosoma – Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente, que abrange os estudos sobre aspectos éticos e os impactos sociais da N&N (ABDI,2010b; MPOG, 2003).

A partir de 2005 investimentos privados foram incorporados aos governamentais para fortalecer os centros de pesquisa já existentes, tais como o INMETO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), LNLS (Laboratório Nacional de Luz Síncrotron) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), além de subsidiar a criação dos Laboratórios Estratégicos Regionais, a saber: LabNano no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF) no Rio de Janeiro e o Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) em Recife.

Em 2012, foi anunciado pelo MCTI (Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação), através da PORTARIA nº 245 (MCTI, 2012a), o sistema Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNano), que integra atualmente 8 laboratórios estratégicos e 18 laboratórios associados. O SisNano tem como principais objetivos promover o desenvolvimento da pesquisa, desenvolvimento e inovação (P, D&I), a partir da pesquisa básica e aplicada, bem como o aperfeiçoamento dos recursos humanos e melhoramento das instalações laboratoriais. O SisNano está integrado a 16 Instituições Científicas Tecnológicas (INCTs), que em conjunto, possuem atividades relacionadas às seguintes áreas: nanobiomagnetismo, nanobiotecnologia, nanotubos de carbono, nanocosméticos, simulação e modelagem de nanoestruturas, nanofotônica, nanotecnologia molecular e interfaces e nanobioestruturas (PRATA, 2014).

De 2006 até os dias atuais, observa-se um crescimento quanto ao fomento do governo federal no âmbito do MCTI, das agências de fomento estaduais (*e.g.* FAPEMIG¹, FAPERJ², FAPESP³), e do setor privado nas ações de pesquisa e inovação em N&N em instituições de ensino e pesquisa ou em empresas, sendo os principais setores contemplados os da indústria química, petroquímica, saúde, dispositivos dentre outros. Neste sentido, entre 2013 e 2014

¹ FAPEMIG: Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais.

² FAPERJ: Fundação de Amparo à Pesquisa do estado do Rio de Janeiro.

³ FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo.

foram investidos em pesquisa e desenvolvimento em N&N aproximadamente R\$ 450 milhões, distribuídos para projetos realizados nos INCTs, SisNano, para subsidiar cooperações internacionais, dentre outras ações. (PRATA, 2014).

Em todo o mundo os investimentos em nanotecnologia, sobretudo nos setores farmacêutico, alimentos, saúde, de semicondutores e outros bens de consumo, foi estimado em US\$ 693 bilhões no ano de 2012, passando a US\$ 1 trilhão em 2013 e para 2015 chegará a US\$ 2,95 trilhões, o que corresponde a cerca de 15% do mercado global, segundo o Lux Research, Instituto de Pesquisas Internacional (ABDI,2010b; ABDI,2010c; PISCOPO, 2014).

Os reflexos acerca dos investimentos em N&N são observados no número de empresas interessadas na inovação tecnológica oferecida pela aplicação dos nanomateriais em processos e produtos. De acordo com o estudo realizado em 2014 pelo Projeto sobre Nanotecnologias Emergentes (PEN- *Project on Emerging Nanotechnologies*), organizado pelo Centro de Nanotecnologia Sustentável da Virgínia, em conjunto com o Centro Internacional Woodrow Wilson, já são em torno 1628 produtos de consumo que contém algum nanomaterial e a tendência é de crescimento linear (PEN, 2014) (Figura 3a).

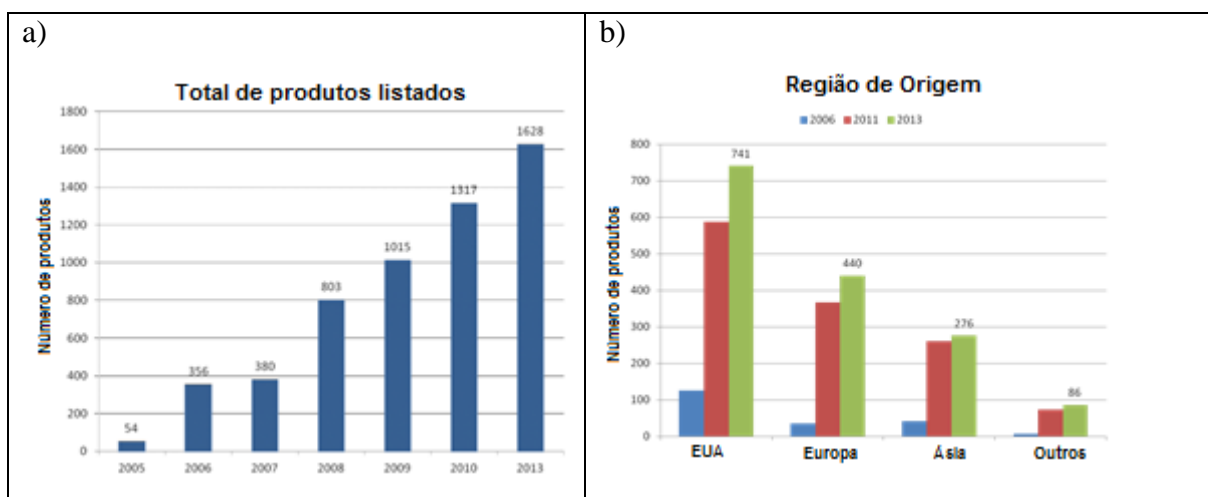


Figura 3: a) Número de produtos no mercado que utilizam nanotecnologia. a) Total de produtos listados; b) Número de produtos de acordo com o país de origem, listados pelo PEN 2014. Figura adaptada de PEN, 2014.

Observou-se que em relação ao último estudo realizado em 2010 (PEN 2010) o aumento foi de 24% (PEN, 2014). Dentre as principais categorias de produtos listados neste estudo e que mais utilizam nanotecnologia estão os produtos das seguintes categorias: saúde e esportes, casa e jardim, automotivo, alimentício, eletrônico e de computadores. Os países que mais têm empresas com produtos no mercado em 2013 (Figura 3b) são EUA com cerca de 741 produtos, países da Europa como o Reino Unido, França, Alemanha, Finlândia, Suíça, Itália, Dinamarca e Suécia (440 produtos), seguidos dos países da Ásia (China, Taiwan, Korea e Japão) com 276 produtos. A produção de outros países, tais como Canadá, México, Israel, Nova Zelândia, Malásia, Tailândia, Singapura, Filipinas e Malásia conta com 86 produtos de consumo (PEN, 2013; PEN, 2010).

Os principais setores de atividade responsáveis pelo mercado mundial de nanotecnologia são os setores químico, de semicondutores, eletrônicos, farmacêuticos e saúde, automotivo, embalagens, energia, defesa e aeronáutico, remediação e proteção ambiental. Contudo, Neste contexto, no Brasil são 150 empresas que desenvolvem nanotecnologias e estão distribuídas nos setores da indústria química (*e.g.* têxtil, tintas e embalagens, catalisadores e revestimentos), petroquímica e na área da saúde. Na Tabela 2, estão listados alguns produtos fabricados no Brasil que envolve a nanotecnologia. Destacam-se as principais aplicações na área farmacêutica quanto à liberação controlada de fármacos (*Drug Delivery System*), medicamentos para diagnóstico e protetores solares e cosméticos de um modo geral. Além disso há na área médica aplicação de nanomateriais como ferramentas de diagnóstico de implantes de dispositivos. (ABDI,2010a; ABDI,2010b). De acordo, com um levantamento realizado pela ANVISA (dizer o que é), aproximadamente 637 produtos foram listados, dentre eles o maior número é de cosméticos com 599 produtos. Os saneantes (20), medicamentos (10), produtos para a saúde (7) e alimentos (1) correspondem aos demais tipos de produtos (ANVISA, 2014).

Tabela 2. Alguns produtos fabricados no Brasil que envolve a nanotecnologia. Adaptada de ABDI, 2010b.

Produto	Descrição	Aplicação
Língua eletrônica	Sensor gustativo	Avalia a qualidade de líquidos e identifica sabores.
Grafite	Lápis com nanopartículas organometálicas	Mais resistência, maciez e intensidade de cor.
Prótese arterial	Endoprótese para cirurgia aórtica	Sistema nanoestruturado que diminui o tempo de internação dos pacientes.
Secador de cabelo	Primeiro secador de cabelo desenvolvido à base de nanotecnologia	Nanopartículas de titânio que eliminam bactérias e fungos do ar.
Sistema de liberação controlada de drogas	Nanocápsulas	Menores concentrações e toxicidade; maior efetividade da droga; efeito terapêutico local.
Revestimentos	Revestimentos nanoestruturados	Resistência a altas temperaturas, corrosão, contaminação biológica, água, produtos químicos. Aumentam em 100% a vida útil do equipamento. Aplicação no setor petroquímico, farmacêutico, automobilístico e da construção civil.
Vitactive nanoserum antissinais	Nanocosmético.	Possui sistema de “liberação direcionada” dos ingredientes ativos nas camadas da pele: Comucel (complexo antienvhecimento); Piox-in (complexo antioxidante); Lumiskin® (clareador e atenuador de olheiras) e vitaminas A, C e K.
Nanocompósitos de polipropileno e polietileno.	Nanocompósitos	Aplicação no setor de embalagens, automobilístico, engrenagens, máquinas e equipamentos, eletroeletrônicos, eletrodomésticos etc.; Maior durabilidade, resistência ao calor, impermeabilidade à umidade e óleo.

Perspectivas na pesquisa e desenvolvimento (P&D) em N&N no Brasil

Um importante instrumento de avaliação das aplicações tecnológicas e as ações a serem tomadas para o desenvolvimento da nanotecnologia no Brasil pelas ações a serem desenvolvidas pela INI - nanotecnologia (Iniciativa Nacional de Inovação em Nanotecnologia)

do MCTI, pode ser observado no estudo de prospecção sobre a nanotecnologia do Brasil, “Visão de Futuro da Nanotecnologia no Brasil: 2008-2025, realizado pela ABDI em conjunto com o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) (ABDI, 2010c). As áreas de aplicação apontadas como as mais promissoras para o Brasil, incluem os temas: nanomateriais, nanoeletrônica, nanofotônica, nanobiotecnologia, nanoenergia e nanoambiente (Tabela 3).

Tabela 3. Alguns produtos fabricados no Brasil que envolve a nanotecnologia. Adaptada de ABDI, 2010c.

Tema	Descrição/ Aplicações
Nanomateriais	Compreendem os materiais com componentes estruturados menores que 100 nm, tais como nanofios, nanotubos, nanopartículas (coloides e pontos quânticos)
Nanoeletrônica	Inclui dispositivos eletrônicos, <i>spintronics</i> , eletrônica molecular, estruturas de poços quânticos e dispositivos de computação quântica. Utilizados em sensores, nanofluidos, motores moleculares, espelhos e interruptores óticos.
Nanofotônica	Estudo das interações entre as nanoestruturas e a luz e pesquisas sobre a manipulação e detecção de estruturas em nanoescalas, tais como células solares estruturas optoeletrônicas baseadas em poços quânticos e litografias em UV ou raios-X.
Nanobiotecnologia	Pesquisa com organismos vivos, dispositivos em nanoescala e processos usados em sistemas de liberação controlada de pesticidas, medicamentos e cosméticos, diagnósticos de doenças e imageamento molecular.
Nanoenergia	Estuda dispositivos em nanoescala ou processos que agem sobre energia em suas várias formas (térmica, química, elétrica, radiante, nuclear etc.) para geração de energia, transmissão, uso e armazenamento em aplicações baseadas em elétrica, hidrogênio, solar ou biocombustíveis.
Nanoambiente	Engloba pesquisa sobre as interações entre nanoestruturas e o meio ambiente, tendo em vista o desenvolvimento de dispositivos e processos para controle de poluição, remediação, tratamento de resíduos e gestão ambiental.

O estudo foi realizado, levando em consideração o marco regulatório, os recursos humanos, a infraestrutura, os investimentos, os aspectos de mercado e os aspectos éticos e sociais envolvidos no desenvolvimento dos temas supracitados. Foram mobilizados em torno de 60 representantes de universidades, governo, empresas e instituições de Ciência e Tecnologia (ICT) brasileiras, diretamente nos campos da nanociência e da nanotecnologia.

O trabalho indicou os principais gargalos ligados aos aspectos citados, bem como declarou a necessidade de ações em conjunto entre a área acadêmica, que apresenta importante desempenho na pesquisa em nanotecnologia, e as empresa para viabilizar novas oportunidades na transferência para o setor sócio produtivo nacional. Deste modo, tornará o Brasil competitivo no cenário internacional quanto ao mercado envolvendo N&N.

Alguns dos gargalos apontados pelo estudo para todos os temas estratégicos (Tabela 3) concerne à rotulagem e direitos do consumidor, regulação, normalização e metrologia, licenciamento de produtos e processos, atendimento a requisitos ambientais, segurança e saúde ocupacional.

Não pode-se esquecer que para viabilizar a satisfatória cadeia de pesquisa, produção e comercialização ligadas ao desenvolvimento da nanotecnologia, além da infra-estrutura necessária, alguns fatores relacionados à atuação de profissionais capacitados são fundamentais (ABDI, 2010c), a saber:

- “(i) Desenvolver instrumentos e métodos de ensaio para uso em nanoescala, capazes de detectar e identificar nanopartículas e de caracterizar nanomateriais e nanodispositivos;
- (ii) desenvolver protocolos para testes de bio e ecotoxicidade;
- (iii) desenvolver protocolos para avaliação do ciclo de vida de materiais em nanoescala, dispositivos e produtos;
- (iv) desenvolver ferramentas de avaliação de risco relevantes para o campo da nanotecnologia; e
- (v) desenvolver protocolos para controle e destruição de nanopartículas e entidades em nanoescala.” (ABDI, 2010c)

Tendo em vista o grande potencial econômico da aplicação da nanotecnologia em setores essenciais da economia, tais como energético e industrial, controle da poluição ambiental e desenvolvimento humano, se faz necessária a adoção de políticas públicas que assegurem tais usos. Adicionalmente as leis devem garantir a inserção segura de produtos e tecnologias fruto da nanociência no mercado, de modo que não cause danos à saúde humana e ao meio ambiente.

Neste sentido, foi instituído em 2014, através da Portaria MCTI 510, 09/07/2012 (LQES, 2012; MCTI,2012b;) o Comitê Interministerial de Nanotecnologias - CIN, com a finalidade de viabilizar a integração da gestão, atuando no aprimoramento das políticas, estratégias e ações de financiamento e integração orçamentária de cooperação internacional, voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no país. Os Ministérios integrados são: da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que o coordenará; o da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); da Defesa (MD); do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC); da Educação (MEC); do Meio Ambiente (MMA); de Minas e Energia (MME); e Saúde (MS). (MCTI, 2012)

Com relação às leis relativas à N&N no Brasil, tramita desde 2013 na Câmara Federal dois Projetos de Lei (PL) que visam regulamentar as políticas e aspectos da comercialização que envolvem nanotecnologia. O PL nº 5133/2013 trata da comercialização de produtos que fazem uso da nanotecnologia (BRASIL, 2013a), enquanto que a PL Nº 6.741/2013 dispõe sobre a Política Nacional de Nanotecnologia, a pesquisa, a produção, o destino de rejeitos e o uso da nanotecnologia no país, e dá outras providências (BRASIL, 2013b).

É importante destacar que a formulação de leis que abordem a questão da N&N é imprescindível para a garantia do desenvolvimento de forma a equilibrar fatores econômicos, sociais e ambientais. Por outro lado, dado o aspecto multidisciplinar da nanotecnologia é imprescindível que a questão da regulação seja amplamente debatida entre os diversos setores da sociedade, de modo que o crescimento econômico seja alcançado, levando em consideração aspectos de proteção ambiental e da saúde humana (PASCHOALINO, 2010; MARCONE, 2010; FERREIRA, 2013).

CONCLUSÕES:

De acordo com os aspectos de produção, mercado e iniciativas tomadas para o desenvolvimento da N&N no país, observa-se que para tornar o Brasil participante efetivo no mercado e na economia mundial, é necessário investir em estrutura de universidades, centros de pesquisa e empresas. Além disto, manter uma relação entre o setor acadêmico e o produtivo para viabilizar transferência de tecnologia configura-se como uma necessidade prioritária.

Levando em consideração as redes e instituições de pesquisa sediadas no Brasil, que contribuem para o desenvolvimento em N&N nos mais diversos setores (ambiental, energético, químico, saúde, etc) e parcerias científico-tecnológicas com outros países, o Brasil encontra-se avançando quanto aos resultados obtidos de número de patentes, artigos publicados e produtos comercializados.

Contudo, dada a expansão projetada para as N&N, observa-se uma grande demanda de profissionais qualificados nas mais diversas áreas, sobretudo nos setores de regulação, avaliação de riscos ecotoxicológicos e toxicológicos, bem como de metrologia. Deste modo, conclui-se que ao passo que for assegurado o aproveitamento das potencialidades de mercado da nanotecnologia, e sendo dada prioridade aos investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento por empresas e pelo governo, não há dúvidas que o Brasil pode evoluir nas áreas social e econômica. Desta maneira, incorporando a N&N como integrante do crescimento estratégico, o país tem chances de reduzir a lacuna socioeconômica que há em relação aos países desenvolvidos.

AGRADECIMENTOS

Às professoras e pesquisadoras, Luciana Carvalheira e Raquel Rennó Braga pelas contribuições no aprimoramento do artigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Cartilha sobre nanotecnologia**. Brasília, DF, 2010a. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Cartilha%20nanotecnologia.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2015.

ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Estudo prospectivo nanotecnologia. Brasília, DF, 2010b, 392 p. (Série Cadernos da Indústria ABDI XX). Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Estudo%20Prospectivo%20de%20Nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 22 jun 2015.

ABDI, Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama de nanotecnologia**. Brasília, DF, 2010c, 180 p. (Série Cadernos da Indústria ABDI XIX). Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/Panorama%20de%20Nanotecnologia.pdf>>. Acesso em: 22 jun 2015.

ALIVISATOS, A. P. **Perspectives on the physical chemistry of semiconductor nanocrystals**, American Journal of Physical Chemistry, v. 100, p. 13226-13239, 1996.

ALVES, G. P.; MARTINS, F.; SANTANA, M. H. A. **Nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de produtos farmacêuticos**. *Fármacos & Medicamentos*. São Paulo, ano 9, p. 44-50, 2008.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Diagnóstico Institucional de Nanotecnologia**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/fb117d80436c3cacb1b5b72a042b41f5/Diagn%C3%B3stico+Institucional+de+Nanotecnologia++CIN+2014++Dicol.pdf?MOD=AJPERES>>. Acessado 20 jun 2015.

BAHNEMANN, D. W.; KHOLUSKAYA, S. N.; DILLERT, R.; KULAK, A. I.; KOKORIN, A. I. **Photodestruction of dichloroacetic acid catalyzed by nano-sized TiO₂ particles**. *Applied Catalysis*, v. 36, p. 161-169, 2002.

BARTIRA ROSSI-BERGMANN, **A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico**. *Ciencia e Cultura* [online]. v. 60, n. 2, p. 54-57, 2008. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v60n2/a24v60n2.pdf> > Acesso 23 jun 2015.

BRASIL, Projeto de Lei nº 5133/2013, de 2013. 2013a. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1064788&filename=PL+5133/2013> Acesso 26 jun 2015.

BRASIL, Projeto de Lei nº 6741/2013, de 2013. 2013b. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=F3E2649075F0E38F70AA3AB937CCD2EF.proposicoesWeb1?codteor=1177566&filename=PL+6741/2013> Acesso 26 jun 2015.

CASTRO V.; FARIAS, P.M.A.; SANTOS, B.S.; MENEZES, F.D.; FERREIRA, R.; FONTES, A.; LIMA, P.R.M.; CASTRO, M.L.B.; CÉSAR, C.L. **Quantum dots, efficient fluorescent markers for red cells**. *Blood*, v. 104 (11), p. 741A-741A- 2711, 2004.

CHEN, Y.; CRITTENDEN, J. C.; HACKNEY, S.; SUTTER, L.; HAND, D. W. **Preparation of a Novel TiO₂-Based p-n Junction Nanotube Photocatalyst**. *Environmental Science & Technology*, v. 39, p. 1201-1208, 2005.

DURÁN, N.; MARCATO, P. D.; DE CONTI, R.; ALVES, O. L.; COSTA, F. T. M.; BROCCHI, M. **Potential use of silver nanoparticles on pathogenic bacteria, their toxicity and possible mechanisms of action**. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 21, p. 949-959, 2010.

EDITORIA LQES (OLA). Comitê Interministerial de Nanotecnologias-CIN. **LQES NEWS**, Ano XI, n. 248, Campinas, 16 de julho de 2012. Disponível em: <http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2012/lqes_news_novida_des_1645.html> Acesso 20 jun 2015.

ELLIOTT, D. W.; ZHANG, W. **Field assessment of nanoscale bimetallic particles for groundwater treatment**. *Environmental Science & Technology*, v. 35, p. 4922-4926, 2001.

FAHNING, BÁRBARA MATHIAS; LOBÃO, ELYOMAR BRAMBATI. **Nanotecnologia aplicada a fármacos**. Faculdade Católica Salesiana do Espírito Santo, Vitória. 2011. 98p. Trabalho de Conclusão de Curso.

FARIAS, P. M. A.; SANTOS, BEATE S.; LONGO, R. L.; FERREIRA, R.; CÉSAR, CARLOS L. **CdS nanoparticles: structural and energetical correlations**. *Materials Chemistry and Physics*, v. 89, p. 21-27, 2005a.

FARIAS, P.M.A.; SANTOS B.S.; MENEZES, F. D.; FERREIRA, R. D.; BARJAS-CASTRO, M. D.; CASTRO, V.; LIMA, P. R. M.; FONTES, A.; CESAR, C. L. **Core-shell CdS/Cd(OH)(2) quantum dots: synthesis and bioconjugation to target red cells antigens**, journal of microscopy-oxford, v. 219, p. 103-108, 2005b.

FARRÉ, M.; GAJDA-SCHRANTZ, K.; KANTIANI, L.; BARCELÓ, D.; **Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment**. Analytical and Bioanalytical Chemistry, v. 6, n. 393, p. 81–95, 2009.

FEDERICI, G.; SHAW, B. J.; HANDY, R. D. **Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): gill injury, oxidative stress, and other physiological effects**. Aquatic Toxicology, v. 84, p. 415-430, 2007.

FERREIRA, ALDO PACHECO; SANT'ANNA, LEONARDO DA SILVA; ALENCAR, MARIA SIMONE DE MENEZES; **Patenteamento em nanotecnologia no brasil: desenvolvimento, potencialidades e reflexões para o meio ambiente e a saúde humana**. Química Nova, v. 36, n. 2, p. 348-353, 2013.

FORTNER, J. D.; LYON, D. Y.; SAYES, C. M.; BOYD, A. M.; FALKNER, J. C.; HOTZE, E. M.; Alemany, L. B.; Tao, Y. J.; Guo, W.; Ausman, K. D.; Colvin, V. L.; Hughes, J. B. **C₆₀ in water nanocrystal formation and microbial response**. . Environmental Science & Technology, v. 39, p. 4307-4316, 2005.

HERBST, M. H.; MACEDO, M. I.F., ROCCO, A. M. **Tecnologia dos nanotubos de carbono: tendências e perspectivas de uma área multidisciplinar**. Química Nova, v. 27 (6), p. 986-992, 2004.

IJIMA, S. **Helical microtubules of graphitic carbon**. Nature, v. 354, p. 56–58, 1991.

JITIANU, A.; CACCIAGUERRA, T.; BERGER, M.; ROLAND, B.; BÉGUIN, F., BONNAMY, S. **New carbon multiwall nanotubes – TiO₂ nanocomposites obtained by the sol–gel method**. Journal of Non-Crystalline Solids, v. 345-346, p. 596–600, 2004.

JU-NAM, Y.; LEAD, J. R. **Manufactured nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications**. Science of the Total Environment, v. 400, p. 396–414, 2008.

KAJIURA, H.; TSUTSUI, S.; KADONO, K.; KAKUTA, M.; ATA, M.; MURAKAMI, Y. **Hydrogen storage capacity of commercially available carbon materials at room temperature**. Applied Physics Letters, v. 82, p. 1105-1107, 2003.

KAMAT, P.V.; HUEHN, R.; NICOLAESCU, R. A. **"Sense and Shoot" Approach for Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants in Water**. Journal of Physical Chemistry, v. 106 (B), p. 788-794, 2002.

LI, Y. -H.; WANG, S.; WEI, J.; ZHANG, X.; XU, C.; LUAN, Z.; WU, D.; WEI, B. **Lead adsorption on carbon nanotubes**. Chemical Physics Letters, v. 357, p. 263-266, 2002.

LONG, R. Q.; YANG, R. T. **Carbon nanotubes as a superior sorbent for nitrogen oxides**. Industrial & Engineering Chemistry Research, v. 40, p. 4288-4291, 2001.

LU, WEIWEI; YAO, KAISHENG; WANG, JIANJI; YUAN, JIONGLIANG. **Ionic liquids–water interfacial preparation of triangular Ag nanoplates and their shape-dependent antibacterial activity**. Journal of Colloid and Interface Science v. 437 p. 35–41, 2015.

MARCONE, G. P.; **Avaliação da ecotoxicidade de nanopartículas de dióxido de titânio e prata**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, SP, 2011.

MCTI, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 510, DE 9 DE JULHO DE 2012. 2012b. Disponível em:<http://www.lex.com.br/legis_23491756_PORTARIA_INTERMINISTERIAL_N_510_DE_9_DE_JULHO_DE_2012.aspx> Acesso 20 jun 2015.

MCTI, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012. Institui o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias - SisNANO como um dos elementos do Programa Nacional de Nanotecnologia, no âmbito da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e associado ao Plano Brasil Maior. 2012a. Disponível em: ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpsessp/bibliote/informe_eletronico/2012/iels.abr.12/Iels67/U_PT-MCTI-GM-245_050412.pdf.> Acesso 20 jun 2015.

MCTI, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012. Institui o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias - SisNANO como um dos elementos do Programa Nacional de Nanotecnologia, no âmbito da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e associado ao Plano Brasil Maior. 2012a. Disponível em: ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpsessp/bibliote/informe_eletronico/2012/iels.abr.12/Iels67/U_PT-MCTI-GM-245_050412.pdf.> Acesso 20 jun 2015.

MELO, C. P; PIMENTA, M. A. **Nanociências e nanotecnologia**. Parcerias Estratégicas, Brasília, n. 18, p. 9-21, 2004. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/arquivos/pe_18.pdf >. Acesso 22 jun 2014.

MENEZES, F.D.; JR. BRASIL, A.G.; MOREIRA, W.L.; BARBOSA, L.C.; CESARC, C.L.; FERREIRA, R. C.; FARIASD, P.M.A., SANTOS, B.S. **CdTe/CdS core shell quantum dots for photonic applications**. Microelectronics Journal, v. 36, p. 989–991. 2005.

MONGE, M. **Nanopartículas de prata: métodos de sínteses em disolución y propiedades bactericidas**. Anales de Química, v.105, p. 33-41, 2009.

MOSER, J.; NAUGHTON, M.; NNUN Abstracts 2002 *Materials, Physics, Processes & Characterization*, 1972.

MOTTA, E. A. (Coord.). **Perspectivas do investimento nas indústrias baseadas em ciência**. Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Economia, 2009. Relatório integrante da pesquisa “Perspectivas do Investimento no Brasil”, em parceria com o Instituto de Economia da UNICAMP, financiada pelo BNDES. Disponível em: <<http://www.projetopib.org/?p=documentos>>. Acesso 10 abril 2011.

MPOG, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. **Plano plurianual 2004-2007**. Brasília, DF, 2003. Disponível em:<[http://www.sigplan.gov.br/arquivos/portallppa/41_\(menspresanexo\).pdf](http://www.sigplan.gov.br/arquivos/portallppa/41_(menspresanexo).pdf). Acesso em: 22 jun 2015.

NOWACK, B.; BUCHELI, T. D. **Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment**. Environmental Pollution, v. 150, p. 5-22, 2007.

PARVEEN, SUPHIYA; MISRA, RANJITA; SAHOO, SANJEEB K. **Nanomedicine: Nanotechnology**. Biology and Medicine, v. 8, p. 147–166, 2012.

PASCHOALINO, M. P.; MARCONE, G. P. S.; JARDIM, W. F. **Os nanomateriais e a questão ambiental**. Química Nova, v. 33, p. 421-430. 2010.

PEN – **The Project on Emerging Nanotechnologies**. 2014. Disponível em: <<http://www.nanotechproject.org/cpi/about/analysis/>> Acesso 20 jun 2015.

PEN, **The Project Emerging Nanotechnologies**. 2010 Disponível em: <http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/analysis_draft/>. Acesso 17 jul 2011.

PERALTA-VIDEA, J. R.; ZHAO, L.; LOPEZ-MORENO, M. L.; ROSA, G.; HONG, J.; GARDEA-TORRESDEY, J. L. **Nanomaterials and the environment: a review for the biennium 2008–2010**. Journal of Hazardous Materials, v. 186, p. 1–15, 2011.

PISCOPO, MARCOS ROBERTO; KNISS, CLÁUDIA TEREZINHA; TEIXEIRA, CLÁUDIA, CHEVENGUÁ; BIANCOLINO, CÉSAR AUGUSTO. **O setor brasileiro de nanotecnologia: Oportunidades e desafios**. Revista de Negócios. v. 19, n. 4, p. 43-63, 2014. Disponível em: < file:///C:/Users/Glauciene/Downloads/4119-15072-1-PB.pdf > Acesso 29 jun 2015.

POHLMANN, ADRIANA R.; DIMER, FRANTIESCOLI A.; FRIEDRICH, ROSSANA B.; BECK, RUY C. R.; GUTERRES, SÍLVIA S. **Impactos da nanotecnologia na saúde: produção de medicamentos**. Química Nova, v. 36, n. 10, p.1520-1526, 2013

PRATA, ALVARO T. **Regulação de produtos nanotecnológicos**. In: Oficina Temática sobre Regulação em Nanotecnologia. 2014, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/PublishingImages/DOCUMENTOS/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20Alvaro%20Prata.pdf> > Acesso 15 jun 2015.

SAHOO, S. K.; LABHASETWAR, V. **Nanotech approaches to drug delivery and imaging**. Drug Discovery Today, v. 8, n. 24, 2003. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/sci-hub.org/science/article/pii/S1359644603029039> > Acesso em 22 jun 2015.

ŞENGÜL, HATICE, THEIS, THOMAS L.; GHOSH, SIDDHARTHA. **Toward Sustainable Nanoproducts. An Overview of Nanomanufacturing Methods**. Journal of Industrial Ecology, v. 12 (3), p. 329–359, 2008. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2008.00046.x/epdf> > Acesso em: 25 jun 2015.

THE ROYAL SOCIETY & THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties**. Plymouth, UK, 2004 Disponível em: < <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/nanoscience-and-nanotechnologies-opportunities> > Acesso em: 20 jun 2015.

TOMA, H. E. **O mundo nanométrico: A dimensão do novo século**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

TOMA, HENRIQUE E. Quim. Nova. V. 28, 2005. Suplemento, S48-S51.

WAGNER, P. **Immobilization strategies for biological scanning probe microscopy**. FEBS Letters, v. 430, p. 112-115, 1998.

WIJNHOFEN, S. W. P.; HERBERTS, C.; HAGENS, W. I.; OOMEN, A. G.; HEUGENS, E.; ROSZEK, B.; BISSCHOPS, J.; PEIJNENBURG, W.; GOSENS, I.; VAN DE MEENT, D.; DEKKERS, S.; DE HEER, C.; SIPS, A. J. A. M.; DE JONG, W. H.; VAN ZIJVERDEN, M.; GEERTSMA, R. E. **Nano-silver: a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment**. Nanotoxicology, v. 3, p. 1-30, 2009.

WILCZEWSKA, AGNIESZKA Z.; NIEMIROWICZ, KATARZYNA, MARKIEWICZ, KAROLINA H.; CAR, HALINA. **Nanoparticles as drug delivery systems**. Pharmacological Reports, v. 64, p. 1020-1037, 2012.

XING, YANJUN; YANG, XIAOJUN; DAI, JINJIN. **Antimicrobial finishing of cotton textile based on water glass by sol–gel method**. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2007.

XU, M.; MA, J.; GU, J.; LU, Z.; **Photocatalytic TiO₂ nanoparticles damage to cellular membranes and genetic supramolecules.** Supramolecular Science, v. 5, p. 511-513, 1998.

ZABAN, A.; MICIC, O. I.; GREGG, B. A. AND NOZIK, A. J. **Photosensitization of nanoporous TiO₂ electrodes with InP quantum dots.** Langmuir, v. 14, p. 3153-3156, 1998.

ZARBIN, A. J. G. **Química de (nano)materiais.** Química Nova, v. 30, p. 1469-1479, 2007.

ZHANG, K.; CHANG, H.; FU, A.; ALIVISATOS, A. P.; YANG, H. **Continuous Distribution of Emission States from Single CdSe/ZnS Quantum Dots.** Nano Letters, v. 6 (4), p. 843-847, 2006.