



**IV SINGEP**

**Simposio Internacional de Gest3o de Projetos, Inova3o e Sustentabilidade**  
**International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability**

ISSN: 2317 - 8302

## **NANOTECNOLOGIA: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE**

**ELIZABETH BORELLI**

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo  
felin@uol.com.br



## **NANOTECNOLOGIA: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE**

### **Resumo**

O artigo analisa a nanotecnologia enquanto tecnologia convergente, no âmbito de uma economia sustentável, a partir da emergência de uma nova realidade internacional. O processo de avanço do conhecimento e inovação é caracterizado pela convergência de novas tecnologias. É colocada, também, a questão da associação da nanotecnologia à fronteira tecnológica e a inovações radicais, o que lhe confere um sensível potencial de efeito multiplicativo para os diversos setores econômicos. Trata-se de uma tecnologia que se propaga pelos vários sistemas e indústrias da economia. Serão levantados aspectos de utilização de produtos e processos da nanotecnologia, analisando riscos e vantagens de sua inserção no contexto mundial e os mecanismos de intervenção via investimentos, bem como perspectivas de potenciais de mercado internacional e do Brasil, sob a ótica da sustentabilidade.

**Palavras-chave:** nanotecnologia, sustentabilidade, tecnologias convergentes, inovação.

### **Abstract**

The article examines nanotechnology while converging technology, within a sustainable economy, from the emergence of a new international reality. The process of advancing knowledge and innovation is characterized by the convergence of new technologies. It is placed also the question of the association of nanotechnology to the technological frontier and radical innovations, which gives a sensitive potential multiplicative effect for the various economic sectors. This is a technology that propagates through the various systems and industries of the economy. Aspects will be raised on the use of nanotechnology products and processes, analyzing risks and benefits of their integration in the global context and the intervention mechanisms via investments, as well as potential prospects of the international market and Brazil, from the perspective of sustainability.

**Keywords:** nanotechnology, sustainability, converging technology, innovation.



## 1 Introdução

Entendendo-se por nanotecnologia o conjunto de ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionadas às propriedades especiais que a matéria exibe quando organizada a partir de estruturas de dimensões nanométricas (Martins, 2009), a difícil manipulação de partículas tão pequenas prospectam alternativas que abrangem quase todas as áreas do conhecimento (Knobel, 2008).

O prefixo “nano” indica objetos e dispositivos em escala nanométrica (um nanômetro, equivale a  $10^{-9}$  mm, ou seja, um milionésimo do milímetro). A nanotecnologia é particularmente significativa para a inovação industrial. Entre as inovações convergentes, a nanociência e a nanotecnologia surgem como uma alternativa para o estudo dos fenômenos e manipulação de materiais na escala atômica, molecular e macromolecular, promovendo mudanças em diversas áreas, permeando ciência e ideologia.

A avaliação dos impactos provenientes das novas tecnologias busca retratar o grau de desenvolvimento de inovações transformadoras em termos de novos produtos e serviços.

Zioni (2005) considera que o ambiente tem sido impactado por ações do modelo capitalista, com base na racionalidade, fazendo uso científico dos recursos naturais e econômicos do planeta e adaptando o conhecimento científico à produção, de forma a intensificar o processo incessante de criação de riqueza. No caso específico das revoluções industriais, caracterizaram-se pela exploração do solo e da mão-de-obra, com geração de resíduos sólidos, intensificados no século XX. A insuficiência dos instrumentos estatais de combate e a busca incessante de lucros pelo setor privado oneram a sociedade e agravam as questões ambientais. É necessário, portanto, discutir novos modelos, normas e valores, que vislumbrem a melhoria na qualidade de vida das populações.

Para Montibeller (2007), o crescimento capitalista instiga a degradação, a poluição e o esgotamento de bens ambientais; se, por um lado, contribui para o incremento da inovação e da “performance” tecnológica, por outro, o mesmo não acontece com os índices de desenvolvimento humano e de qualidade de vida.

Calderoni (2004) destaca a importância da dimensão econômica associada às questões ambientais, por ser situação fundamental na formulação de diretrizes de atuação do governo, das empresas e dos cidadãos para a própria compreensão dos fatos e das relações sociais, culturais e políticas.

Para Dalcomuni (2006), um novo “paradigma tecnológico” emerge de evoluções recentes nas áreas de nanotecnologia, biotecnologia e tecnologias da informação, fundamentados no conhecimento e na cognição. Tais transformações vêm sendo influenciadas pelo que se tem denominado de “paradigma da sustentabilidade”, representando o desafio de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação e recuperação do meio ambiente natural. Em sua visão, o desenvolvimento sustentável, entendido de forma ampla, pode contribuir para a configuração de uma nova ética para o desenvolvimento da sociedade contemporânea, exigindo mudanças culturais efetivas nos papéis da ciência, da tecnologia e da economia, na direção de um novo paradigma.

Assim sendo, não basta apenas haver crescimento econômico e avanço tecnológico; as instituições deverão estar voltadas para o bem-estar da sociedade, de forma a atender a seus anseios. Os interesses econômicos coincidem com os ecológicos em um quadro de desenvolvimento sustentável que foca o longo prazo, pois os recursos são limitados e esgotáveis, na natureza. (Câmara e Souza, 2009).



Dentre as novas tecnologias, destaca-se a importância da nanotecnologia; a origem deste termo advém do prefixo “nano”, que, em grego, significa “anão”. A nanotecnologia é a nanociência aplicada, ou seja, a tecnologia relacionada a estas pequeníssimas dimensões e à miniaturização: máquinas e equipamentos fabricados em escala atômica, ou, melhor dizendo, em escala nanométrica.

A nanotecnologia compreende uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas. Mesmo sendo de um mesmo elemento químico, as nanopartículas se comportam de forma diferente das partículas maiores - em termos de cores, propriedades termodinâmicas, condutividade elétrica, etc. Ou seja, o tamanho da partícula é de suma importância, porque, ao mudar a natureza das interações das forças entre as moléculas do material, alteram-se os impactos que estes processos ou produtos nanotecnológicos apresentam junto ao meio ambiente, a saúde humana e a sociedade como um todo. (Martins, 2009).

A integração de novos conhecimentos, instrumentos e áreas tem ocorrido de forma cada vez mais complexa, viabilizando novos produtos e processos, através da convergência tecnológica, que agrega a nanotecnologia como o principal componente habilitador para a geração de novas tecnologias.

O objetivo desta análise é focalizar a nanotecnologia como habilitadora principal entre as tecnologias modernas, com base nas orientações da política científica e tecnológica, em âmbito internacional. Nesse enfoque, será discutida a dinâmica do setor, de forma a se avaliar o seu potencial de transformação da economia, através de indicadores de mercado, à luz do desenvolvimento sustentável.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

No debate acadêmico em torno da questão da economia do meio ambiente, as posições se dividem entre duas correntes principais de interpretação, quais sejam, a Economia Ambiental - que segue a linha neoclássica e considera que os recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite absoluto à expansão da economia- e a Economia Ecológica - que vê o sistema econômico como um subsistema de um todo maior que o contém, impondo uma restrição absoluta à sua expansão; capital e recursos naturais são essencialmente complementares. Entre elas, permanece a discordância fundamental em relação à capacidade de superação indefinida dos limites ambientais globais. (Romeiro, 2003).

A obra de George-Roegen (1906-1994) representou um papel decisivo na consolidação da Economia Ecológica, em suacrítica à ciência econômica convencional. A atual Economia Ecológica – diferentemente da economia neoclássica - vê a economia humana imersa em um ecossistema mais amplo, estudando as condições (sociais, temporais, espaciais) para que a economia se encaixe nos ecossistemas, estudando também a valoração dos serviços prestados pelo ecossistema ao subsistema econômico. (Alier, 1998).

A presente análise optou pelo enfoque da Economia Ecológica, entendida enquanto estudo da compatibilidade entre a economia humana e o meio ambiente no longo prazo.

É importante colocar que o entendimento da questão ambiental passa pela superação de alguns desafios, que incluem desde a criação de legislação e de instituições de controle e gestão ambiental, passando pela necessidade de universalização da questão e pelo desenvolvimento de tecnologias ambientais reparadoras e alternativas, até questões analíticas como o “desafio relativo à formação de métodos de análise, conceitos e procedimentos



teóricos capazes de abordar em sua totalidade e complexidade a questão ambiental”. (Paula; Monte-Mór, 2000, p. 76).

A própria categorização dos fatores que mais agredem o meio ambiente é controversa. Para Hogan (2000), a influência neomalthusiana contribuiu para que a análise da degradação ambiental se restringisse à quantificação da população, comprometendo os recursos naturais. Apenas recentemente a pressão demográfica se apresentou como um fator agravante, e não necessariamente determinante de problemas ambientais.

A definição de impacto ambiental também constitui uma dificuldade metodológica. Segundo a formulação de Ehrlich (Hogan, 2000), o estresse ambiental poderia ser definido como: um produto de população (P), afluência (A) e tecnologia (T), de forma que o Impacto Ambiental (I) poderia ser expresso por:  $I = P.A.T$

A equação, na verdade, representa uma síntese dos principais fatores demográficos envolvidos, que se influenciam mutuamente (Hogan, 2000). De acordo com esta equação, cada região, cada período de tempo e cada recurso apresentariam seus multiplicadores específicos. Embora conceitualmente ampla, a definição de impacto, mesmo redimensionando a participação da população, cria problemas metodológicos quando se busca mensurar a degradação ambiental de forma complexa, uma vez que não incorpora alterações nos fluxos ou estoques dos recursos naturais.

O'Connor (1998) revisita um marco teórico originalmente elaborado por Marx - a contradição "capital x natureza"- onde os ciclos de reprodução se dão em escalas diferentes de tempo, o que indica que, em determinado momento da história do capitalismo, não haverá mais recursos naturais suficientes para a produção de mercadorias e a reprodução ampliada do capital. Portanto, a contradição aponta para a escassez de recursos naturais, o que restringiria a produção capitalista. As novas tecnologias - biotecnologia e nanotecnologia -oferecem uma saída direta para esse impasse. Se a biotecnologia rompe a barreira entre as espécies, de forma que gens de espécies diferentes podem ser incorporados no processo de melhoramento genético, com a nanotecnologia, tem-se a possibilidade de se juntar o orgânico com o inorgânico, onde a parte orgânica passa a ser a fonte de energia para a parte inorgânica. A nanotecnologia, ao proporcionar a capacidade de manipulação de átomos e moléculas, tem o potencial de produzir infinitas novas composições, que poderão materializar infinitos novos materiais.

Contudo, para que os recentes avanços científicos e tecnológicos representados pela convergência tecnológica - envolvendo nanotecnologia, biotecnologia, tecnologia de informação e cognotecnologia - minimizem a contradição entre capital e natureza, pressupõe-se uma sociedade sustentável, caracterizada como democrática, onde os movimentos sociais sejam capazes de criar novos direitos, relativos à vida, ao meio ambiente e ao trabalho. (Acselrad, 1992).

Nesse enfoque, uma das metas da tecnologia moderna é a busca de um ambiente saudável, enxergando o homem como parte integrante da natureza, dentro da concepção ampla de desenvolvimento sustentável, ou seja, não apenas através de ações voltadas à mitigação dos impactos ambientais, mas também em termos de resgate ambiental, envolvendo a recuperação da qualidade do ar, dos mananciais, da fauna e flora degradadas, da natureza como fonte de qualidade de vida.

Por outro lado, ONGs, como o Grupo de Ação para Erosão, Tecnologia e Concentração, no Canadá, chegaram a propor o banimento da nanotecnologia, questionando a atual falta de conhecimentos obre seus efeitos na saúde e no meio ambiente.

A resposta da nanotecnologia a esse questionamento parte, principalmente, da Química Verde - uma abordagem voltada para o desenvolvimento sustentável, que ganhou



força a partir de 1987, quando foi publicado o relatório da ONU sobre “o nosso futuro comum”. (Ritter, 2001).

Analisada sob o ponto de vista da Química Verde, a nanotecnologia aponta uma tendência natural, pois trata diretamente da questão da redução de escala material e energética, de maior eficiência e seletividade nos processos, uso de materiais mais inteligentes e ambientalmente corretos, e até do desenvolvimento de dispositivos analíticos para monitoração em tempo real.

Os próximos 50 anos serão decisivos para o destino da humanidade, levando-se em conta a expansão populacional e a demanda crescente por alimento, água e energia, diante da previsão de esgotamento dos recursos naturais não-renováveis. A manutenção e elevação da qualidade de vida só serão possíveis com o advento de tecnologias que utilizem matérias-primas e fontes de energia renováveis e que sejam ambientalmente corretas. (Desimone, 2003).

O interesse explícito pelo estudo e desenvolvimento sistemático de objetos e dispositivos na escala nanométrica é bastante recente e, historicamente, costuma ter seu marco inicial associado à palestra proferida em 1959, pelo físico americano Richard Feynman, intitulada “Há muito espaço lá embaixo” - essa palestra é hoje considerada o momento definidor das nanociências e nanotecnologia como uma atividade científica.

O termo *Nanotechnology*, propriamente, foi criado em 1974, na Universidade de Ciências de Tóquio pelo professor Norio Taniguchi, para descrever a manufatura precisa de materiais com tolerâncias nanométricas. Na década de 80, o termo foi reinventado e sua definição expandida pelo professor K. Eric Drexler, do *Massachusetts Institute of Technology - MIT*, mais especificamente em seu livro “*Engines of Creation – The Coming Era of Nanotechnology*”, de 1986. Sua tese de doutorado “*Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing and Computation*”, publicado em 1992, impulsionou o interesse pela tecnologia no meio científico mundial. (Instituto Inovação, 2005).

Duas abordagens são utilizadas para o desenvolvimento de nanoestruturas: a *top-down*, que consiste na redução das dimensões de dispositivos, ou miniaturização (abordagem física); e *bottom-up*, que é a montagem de estruturas a partir de átomos e moléculas (abordagem química).

A nanotecnologia se caracteriza por se inserir ao longo do processo produtivo, em vários elos da cadeia e com impactos diferenciados em cada ramo. Existem áreas que podem ter suas dinâmicas completamente alteradas em função de sua introdução, como, por exemplo, fármacos, química ou eletrônicos, mas também, em algumas outras, provocará um menor impacto. Ou seja, as possíveis mudanças irão depender das dinâmicas setoriais, das cadeias produtivas e das trajetórias que essa tecnologia irá descrever. (Nightingale, 2008).

A nanotecnologia altera as propriedades dos produtos, pois, na escala nanométrica, as estruturas são diferentes, se comparadas à macroescala; podem ocorrer mudanças com relação à cor, à condutibilidade, à resistência, ao armazenamento de calor, entre outras.

Enquanto nanotecnologias emergentes estão sendo desenvolvidas atualmente, outras tecnologias, ditas conhecidas ou estabelecidas, já estão no mercado há anos, como é o caso das zeólitas sintéticas.

A análise de políticas para nanotecnologia e seus impactos na economia requer o levantamento de algumas questões, que devem ser, necessariamente, consideradas, para que uma política de inovação possa intervir no processo de fomento ao setor produtivo nacional, quais sejam, a oportunidade tecnológica e a oportunidade de mercado, a cumulatividade, a propriabilidade possibilitada por essa tecnologia nas empresas envolvidas.



A utilização desses critérios para a avaliação do foco de estímulo a essa tecnologia pode facilitar o êxito da política, em termos da geração de uma dinâmica de difusão e geração de inovações, ancorada em nanotecnologias. (Gordon, 2010).

As oportunidades podem variar com o decorrer do tempo, ressaltando-se que, devido a sua capacidade de penetração e à influência de diversos ramos de pesquisa científica, a nanotecnologia se diferencia das demais tecnologias convergentes.

Contudo, apenas a oportunidade tecnológica, em si, não significa que a nanotecnologia se difundirá em todos os setores, uma vez que as oportunidades de mercado não são iguais. Um dos focos de preocupação da política tecnológica centra-se, exatamente, na busca por setores propícios à utilização da nanotecnologia, o que significa que, além da análise das oportunidades tecnológicas, é fundamental a análise de demanda, ou seja, a oportunidade de mercado – que surge como outro ponto importante para o desenvolvimento de produtos e processos nanotecnológicos para as empresas. (Nightingale, 2008).

Nesse enfoque, a elaboração da política tecnológica deve levar em conta a necessidade de incentivar essa tecnologia a partir de alternativas de ganhos das empresas. Por outro lado, considerando-se que as possibilidades de lucros e retornos financeiros não são iguais para todos os setores da economia, devido aos diferentes impactos que essa tecnologia pode causar, o poder de compra do Estado pode ser utilizado como instrumento de política de incentivo tecnológico. Dosi (2006) coloca, ainda, a questão da cumulatividade, uma vez que as características já existentes dos setores, cadeias e firmas são fatores importantes para a formulação da política tecnológica, dentro de uma dinâmica de inovação.

### **3 METODOLOGIA**

A metodologia adotada parte de uma fundamentação teórica, com base em conceituações pertinentes a inovações e tecnologias convergentes, no enfoque da economia ecológica, de forma a facilitar a investigação de riscos e oportunidades, no intuito de apresentar uma contribuição para o entendimento do quadro evolutivo das nanotecnologias e nanociências – N & N - na economia internacional.

A análise pautou-se em pesquisa qualitativa e quantitativa, constando de levantamentos bibliográficos e documentais, em sua fase exploratória. O material reunido foi analisado sob a ótica da inovação e da sustentabilidade, na busca de resultados conclusivos.

### **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Em termos tecnológicos, uma primeira motivação para o desenvolvimento de objetos e artefatos na escala nanométrica está associada à possibilidade de que um número cada vez maior deles venha a ser reunido em dispositivos de dimensões muito pequenas, aumentando assim a compactação e sua capacidade para o processamento de informações. Por exemplo, o tamanho dos transistores e componentes se torna menor a cada nova geração tecnológica, o que permite uma melhor *performance* de novos chips processadores que neles se baseiem, embora de tamanho igual ou menor.

De uma maneira geral, os principais benefícios do avanço da nanotecnologia podem ser elencados como: controle das características desejáveis, otimização do uso de recursos, menor impacto ambiental, desenvolvimento de fármacos com menores efeitos colaterais, aumento da capacidade de processamento de sistemas computacionais.

Os benefícios da nanotecnologia prospectados em relação ao desenvolvimento de novos materiais e produtos são tão diversos quanto o número de setores que usufruem de sua aplicação em seus processos. Um cenário otimista aponta para vantagens de âmbito social e



econômico no futuro, com prosperidade econômica, geração de empregos, melhor qualidade de vida para a população e um ecossistema mais limpo. Aqueles que a apoiam, acreditam que a nanotecnologia criará meios de produção com menor degradação da natureza. Processos mais limpos poderão ser utilizados na fabricação de diversos materiais, aumentando a eficiência no uso dos insumos, como matéria-prima e energia, e ainda reduzindo o nível de poluição.

Os países desenvolvidos têm demonstrado bastante interesse nas pesquisas da nanociência, pois reconhecem a importância do domínio desta tecnologia frente ao mercado internacional, com destaque para o Japão e os Estados Unidos como líderes no ranking dos investimentos.

Apesar de várias pesquisas em Nanotecnologia ainda estarem em estágio de desenvolvimento, diversos produtos inovadores nela baseados já são comercializados no mercado mundial. Dentre as aplicações inovadoras que já incorporam essa tecnologia, podem-se citar como exemplos: vidros para automóveis e óculos de sol, tecidos, equipamentos esportivos, protetores solares e cosméticos, televisores, chips e memórias para computadores.

São três as grandes áreas que representarão grandes oportunidades de negócio no mundo nos próximos anos: biotecnologia, semicondutores e novos materiais, com destaque para a família de produtos criada a partir de nanotubos de carbono.

Contudo, apesar das oportunidades e do fascínio gerados em torno dessa tecnologia emergente, há riscos associados a ela num cenário complexo e ainda de difícil definição, mas que, todavia, não podem ser subestimados, como, por exemplo: riscos relacionados aos direitos de propriedade intelectual, riscos políticos em relação ao impacto no desenvolvimento econômico de países e regiões, riscos em relação à privacidade, quando sensores em miniatura se tornarem imperceptíveis, riscos ao meio ambiente, com o lançamento de nanopartículas no ecossistema, riscos quanto à segurança dos trabalhadores e dos consumidores em contato com nanopartículas.

Ainda existem várias incertezas ligadas ao desenvolvimento da Nanotecnologia, já que existem poucos estudos sobre os impactos do uso de nanopartículas. Os países que mantêm investimentos em pesquisas também não se ocuparam da elaboração de leis e regras que controlem o desenvolvimento da tecnologia. Na visão de alguns pesquisadores, a principal barreira ao desenvolvimento da Nanotecnologia, a nível mundial, está relacionada aos riscos associados aos impactos no meio ambiente do uso de nanoestruturas, um dos pontos mais questionados pelos críticos da Nanociência. (Instituto Inovação, 2005).

Sáenz e Souza-Paula (2008) se referem a riscos inerentes à nanotecnologia, tais como: criação descontrolada de formas de vida, redução da biodiversidade, desestabilização da engenharia ambiental, concorrência trans-humana, biológica e cibernética, maiores desigualdades sociais, desenvolvimento de armas de poder letal, entre outros.

Para Sandler (2009), ainda não há um consenso entre os cientistas quanto aos possíveis riscos da nanotecnologia, pois, assim como pode contribuir para uma revolução tecnológica e ambiental ao consumir menos energia e promover o uso mais eficiente dos novos fatores produtivos, também pode provocar um cenário composto por inúmeras reações adversas nos seres humanos e no meio ambiente.

Estudos pioneiros de grupos de cientistas nos países da União Europeia e no Canadá apontam para os riscos em potencial através da introdução de nanoproductos nos mercados, exigindo amplos debates públicos e consequentes medidas regulatórias e fiscalizadoras, para evitar danos à saúde, ao meio ambiente e ao bem-estar da população. Além disso, o debate sobre a questão de patentes é fundamental, em termos de definição dos rumos da nanotecnologia. (Rattner, 2005).



Outro risco a ser considerado é o uso da tecnologia para fins bélicos. São inúmeras as possíveis aplicações da Nanotecnologia para uso militar, e milhões de dólares vêm sendo investidos anualmente nesta área, nos Estados Unidos. A Nanotecnologia poderá lançar novas toxinas na atmosfera terrestre. Assim, há também a possibilidade de acontecer com a Nanotecnologia o mesmo que ocorreu com a descoberta da energia nuclear, quando esta foi utilizada na construção da bomba atômica: gerar desconfiança por parte da sociedade. (Instituto Inovação, 2005).

Outro ponto levantado por alguns autores é que, da mesma forma como hoje a disparidade entre os investimentos em pesquisa na nanociência é grande, o fosso tecnológico entre os países, futuramente, poderá se agravar. Uma hegemonia tecnológica poderá piorar ainda mais a situação de desigualdade econômica e social entre as nações, causando desequilíbrio e instabilidade nas relações internacionais.

Muitas dúvidas quanto aos riscos da Nanotecnologia ainda persistem. Um diálogo mais aberto deverá ser mantido entre institutos de pesquisa, governo e sociedade, como respostas a esses questionamentos.

Indubitavelmente, a nanotecnologia exige o aguçamento de uma percepção crítica quanto à adoção de processos técnicos, no âmbito de uma cultura e de uma economia de inovação.

Dado seu alto potencial para enfrentamento dos desafios globais, a nanotecnologia tem sido considerada a base da próxima revolução industrial. Trata-se, pois, da transformação radical dos processos e produtos de nossa atual sociedade industrial, por meio da aplicação do infinitamente pequeno às mais diferentes ações cotidianas.

Essa “quarta revolução industrial” mobiliza, fundamentalmente, as ciências da vida, através da biotecnologia, bem como uma gama multidisciplinar de ciências exatas e cognitivas que constituem a nanociência, materializada através da nanotecnologia.

Este novo patamar de conhecimento, com impactos científicos, tecnológicos e econômicos ainda não plenamente mensurados, tem levado Estados Unidos, Japão e União Europeia a priorizarem o incentivo e financiamento para esta área.

O mercado total de produtos que incorporam nanotecnologias (incluindo-se semicondutores e eletrônicos) atingiu US\$ 135 bilhões em 2007 (ABDI, 2010). Segundo a Lux Research, uma das principais consultorias norte-americanas especializadas em nanotecnologia, o mercado deve alcançar, em 2015, cerca de US\$ 3,1 trilhões (Lux Research, 2008).

Com investimentos menos expressivos, países em desenvolvimento, como Brasil, Índia, México, Chile e Argentina, também já se voltaram para o grande potencial da nanotecnologia e, em função disso, mobilizaram suas iniciativas nacionais, que poderão se reverter em significativos benefícios sociais, se adequadamente canalizados. (Alves, 2010).

Em 2005, o *site* da BBC News veiculou o artigo *Nanotech Promise for Global Poor*, divulgando o resultado de um painel realizado com 63 especialistas mundiais, que identificaram as dez áreas mais promissoras da nanotecnologia para países em desenvolvimento, destacando, entre elas, armazenamento, produção e conversão de energia, incrementos na agricultura, tratamento de água e remediação ambiental. (César Jr., 2010).

No Brasil, a nanotecnologia foi inserida na Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), lançada em 2008 pelo governo federal, sendo considerada área estratégica.

Com isso, o governo pretende solidificar o espaço da nanotecnologia na agenda pública e garantir visibilidade para futuros aportes de recursos, além de estimular a inovação e a inserção internacional das empresas brasileiras.

Nesse contexto, os fundos setoriais representam o principal instrumento de estímulo ao fortalecimento do sistema nacional de ciência, tecnologia e inovação.



O crescimento previsto para o setor pretende atuar em segmentos específicos e transformá-los em produtos de alto valor agregado. Há, assim, uma expectativa de que a nanotecnologia possa impactar o desenvolvimento econômico, social e ambiental do Brasil. Tais contribuições virão por meio de inovações em áreas emergentes do conhecimento, capazes de colocar o país em posição de destaque mundial. Inovações voltadas para setores tradicionais da indústria brasileira ganharão maior sustentabilidade. (César Jr., 2010).

No Brasil, as oportunidades de negócio em nanotecnologia tendem a surgir primeiramente em setores que já comercializam produtos com a tecnologia incorporada, como o mercado de cosméticos, a indústria química (que produz catalisadores, tintas, revestimentos) e petroquímica, e o ramo de plásticos, borrachas e ligas metálicas.

Resta indagar como a nanotecnologia será aplicada, por quem será aplicada e com que objetivo. Naturalmente, a nanotecnologia irá aumentar o investimento na economia, e também a lucratividade. O papel do Estado se manifesta através de investimentos diretos e benefícios fiscais, mas não absorve o retorno, que irá para o setor privado. Para Schnaiberg (2006), tendências recentes têm demonstrado que a inovação tecnológica tem beneficiado diretamente os investidores e não os trabalhadores; o efeito indireto, no caso da nanotecnologia, seria a conservação de energia e de materiais, repercutindo para a redução do impacto ambiental e, portanto, para a melhoria da qualidade de vida da população.

A oferta de produtos, processos e serviços ligados à nanotecnologia no Brasil não vem acompanhando os indicadores da produção científica internacional, segundo os quais, o país se encontra na 25ª posição do *ranking* mundial, de acordo com os critérios adotados no estudo da SCIENCE-METRIX, em 2008.

O Brasil investiu R\$70 milhões entre 2000 a 2007, e entre 2007 e 2010 mais R\$70 milhões, enquanto que, só no período de 2001 a 2006, os EUA aplicaram US\$5,461 bilhões (Dalcomuni, 2009).

O incentivo do Estado em N&N se inicia em 2001, com a criação de quatro redes de pesquisa e o aporte financeiro previsto de R\$3 milhões - Nanobiotec, Nanomat, Nanoseminat, RENAMI- que articulou 300 pesquisadores e 77 instituições entre 2002 e 2005. A partir de 2004, o programa é revigorado mediante sua continuidade com os IMs do PADCT III e o surgimento do programa “Desenvolvimento da Nanociência e Nanotecnologia”, no período 2004 a 2007, que estimula a geração de patentes, produtos e processos na área. Contudo, as redes são altamente dependentes das políticas públicas (Ludeña, 2008).

O Brasil não possui ainda uma base de dados sistematizada sobre o mercado dos produtos, processos e serviços baseados em nanotecnologia.

Atualmente, há um pequeno número de empresas que incorporam nanotecnologias em seus produtos ou processos, ou que fabricam nanomateriais, nanointermediários ou nanoferramentas. Esse fato está correlacionado com a posição pouco expressiva do Brasil em relação ao seu *portfolio* de patentes em nanotecnologia, principalmente quando comparado a países como China, Taiwan, Coreia e Índia, entre outros. (ABDI, 2010).

As pesquisas que estão sendo desenvolvidas no país indicam que as oportunidades de negócio em nanotecnologia tendem a surgir, primeiramente, nos mercados de cosméticos, produtos provenientes da indústria química (catalisadores, tintas, revestimentos) e petroquímica, plásticos, borrachas e ligas metálicas (MCT, 2007).

Observa-se, nitidamente, um descompasso na dinâmica dos investimentos em nanotecnologia no Brasil, ressaltando-se que os investimentos em nanotecnologia ainda não estão orçados à altura de investimentos estratégicos; o capital investido, embora crescente, é pouco significativo quando comparado às cifras globais.



Os investimentos privados são quase inexistentes, concentrando-se quase que exclusivamente nas iniciativas governamentais através do Ministério da Ciência e Tecnologia.

A Tabela 1 apresenta os investimentos projetados pelo Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação para Nanotecnologia, dentro das ações propostas pelo MCT para a área, consubstanciadas no Plano de Ação 2007-2010.

Tabela 1:

**PPDI para a Nanotecnologia - Recursos (R\$ milhões)**

<b>Origem</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>Total</b>
MCT/ FNDCT	4,8	6,5	9,5	12,7	33,5
MCT/ Outras ações PPA	10,29	8,74	8,59	8,87	36,49
<b>Total</b>	<b>15,09</b>	<b>15,24</b>	<b>18,09</b>	<b>21,57</b>	<b>69,99</b>

Fonte : MCT(20010)

Conclui-se que o Brasil tem seu investimento em nanotecnologia feito pelos órgãos de fomento (CNPq, FAPESP), contando, ainda, com inexpressiva participação do setor privado da economia. A falta de investimentos nessa tecnologia pode aumentar o *gap* entre o Brasil e os países do mundo que tiverem desenvolvido capacidade produtiva e inovativa nessa tecnologia, por considerarem que o novo paradigma será constituído pela nanotecnologia, dada sua função habilitadora das tecnologias convergentes.

Por outro lado, para que os recentes avanços científicos e tecnológicos representados pela convergência tecnológica minimizem a contradição entre capital e natureza, pressupõe-se uma sociedade sustentável. (Acselrad,1992).

Uma das metas da tecnologia moderna é a busca de um ambiente saudável, dentro da concepção ampla de desenvolvimento sustentável, não apenas através de ações voltadas à mitigação dos impactos ambientais, mas também em termos de resgate ambiental. A distribuição das atividades econômicas em harmonia com o meio ambiente pressupõe que as inovações tecnológicas, nas quais a nanotecnologia se inclui, devam ser representativas dessa proposta.

Dentro desta proposta se alinha o Programa de Nanotecnologia 2012 – 2015, (MCTI, 2012), na definição de áreas estratégicas com potencial para o desenvolvimento de produtos nanotecnológicos, incluindo: aeroespacial, agronegócio, defesa, energia, meio ambiente e saúde, tendo por gestor o Comitê Interministerial de Tecnologia, fixando como metas:

- propor mecanismos de integração da gestão e da coordenação das atividades relacionadas às nanotecnologias;
- propor mecanismos de planejamento, implementação, acompanhamento e avaliação das atividades relacionadas às nanotecnologias;
- formular recomendações de planos, programas, metas, ações e projetos integrados para a consolidação e a evolução das nanotecnologias no País, indicando potenciais fontes de financiamento; e
- indicar os recursos financeiros necessários, destinados a apoiar projetos de P,D&I em nível nacional e internacional, quando envolver cooperação bilateral ou multilateral em nanotecnologias.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dado seu alto potencial para enfrentamento dos desafios globais, a nanotecnologia tem sido considerada a base da próxima revolução industrial. Trata-se, pois, da transformação radical dos processos e produtos de nossa atual sociedade industrial, por meio da aplicação do infinitamente pequeno às mais diferentes ações cotidianas.

Essa “quarta revolução industrial” mobiliza, fundamentalmente, as ciências da vida, através da biotecnologia, bem como uma gama multidisciplinar de ciências exatas e cognitivas que constituem a nanociência, materializada pela nanotecnologia.

Este novo patamar de conhecimento, com impactos científicos, tecnológicos e econômicos ainda não plenamente mensurados, tem levado Estados Unidos, Japão e União Europeia a priorizarem o incentivo e financiamento para esta área.

Partindo de um conceito de desenvolvimento sustentável em sentido amplo, que abarca ampliação da riqueza com equidade social e distribuição de atividades econômicas em harmonia com o meio ambiente, as inovações tecnológicas, nas quais a nanotecnologia se inclui, devem representar uma mudança cultural positiva para a sociedade contemporânea.

Segundo as intenções expressas no documento “Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015”, com base no cenário atual e nas perspectivas futuras, a nanotecnologia se apresenta como uma área prioritária no âmbito do governo, que busca alavancar seu crescimento econômico através do aumento da competitividade de seu sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação, para a melhoria da qualidade de vida ambientalmente sustentável.(MCTI,2012).

Assim, o desafio proposto é que a nanotecnologia contribua para o desenvolvimento industrial do país, através de novos processos e produtos. Além das áreas de eletrônica, computadores, telecomunicações e novos materiais, o momento aponta para novas fronteiras, representadas pela biomedicina, pela biologia molecular, pela bioengenharia.

Não obstante as nanotecnologias, por si sós, não serem capazes de reduzir problemas cruciais para países em desenvolvimento, como concentração de renda e desemprego, podem provocar impactos positivos nas áreas de água, agricultura, nutrição, saúde, energia e meio ambiente, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida, de forma efetiva.

Numa visão construtiva, se os avanços da nanotecnologia tiverem suas ações embasadas no conceito de desenvolvimento sustentável, em sentido amplo, terão condições de enfrentar o desafio de se transformarem em instrumentos de promoção de uma melhor qualidade de vida para a população dos países em desenvolvimento.

## REFERÊNCIAS

ACSELRAD, H. (1992).**Meio ambiente e democracia**. Rio de Janeiro: IBASE.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial.(2010) **Panorama da nanotecnologia**. Série Cadernos da Indústria ABDI. Volume XIX.Brasília.

ALIER, J.M. (1998).**Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau: FURB.

ALVES, O. L. **Nanotecnologia e desenvolvimento**. Instituto de Química UNICAMP, São Paulo, Disponível em <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos>



[vistaartigo\\_divulgacao\\_351nanotecnologia\\_desenvolvimento.pdf](#). Acesso em: 3 de junho, 2015.

CALDERONI, S. Economia Ambiental.(2004) In: PHILIP Jr, A.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA, G.C. **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole.

CÂMARA e SOUZA (2010). Crise ambiental e desenvolvimento sustentável: a nanotecnologia como uma das soluções de longo prazo. **Revista Capital Científico** - Guarapuava - PR - v.7 n.1 - jan./dez. 2009.

César Júnior,S. (2010). Fronteira tecnológica e escassez de recursos: uma análise da nanotecnologia no Brasil in IPEA – **Radar – Tecnologia, Produção e Comércio Exterior**. Nº9 Brasília.

DALCOMUNI, S.M.(2006). Inter-relações fundamentais para o desenvolvimento sustentável.. In: MARTINS, P.R. (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. São Paulo: Xamã, p.49-68.

DESIMONE, J. M.(2003). Practical approaches to green solvents. *Science*, v. 297,n. 5582.

HOGAN, D. J. (2000). A relação entre população e ambiente: desafios para a demografia. In: TORRES, H. e COSTA, H. (Org.). **População e meio ambiente: debates e desafios**. São Paulo: Senac.

INSTITUTO INOVAÇÃO. **Nanotecnologia**, 2005. Disponível em: <http://inventta.net/wp-content/uploads/2010/07/Nanotecnologia.pdf>. Acesso em 12 de julho,2015.

KNOBEL, M. **A importância da Divulgação Científica em Nanociência: o Exemplo da NanoAventura**. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/60ra/textos/SI-MarceloKnobel-Nano.pdf>. Acesso em: 20 julho, 2015.

LUX RESEARCH.**Overhyped technology starts to reach potential: nanotech to impact \$3.1 trillion in manufactured goods in 2015**. Nova York, julho ( 2008). Disponível em: [www.luxresearchinc.com/press/RELEASE\\_Nano-SMR\\_7\\_22\\_08.pdf](http://www.luxresearchinc.com/press/RELEASE_Nano-SMR_7_22_08.pdf) . Acesso em: 6 de julho de 2015.

MARTINS, Paulo.(2009). Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável. **Estudios Sociales**, Vol. 17, Núm. 34, julio-diciembre, pp. 293-309. México:Universidad de Sonora.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.(2012). **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 – 2015**. Balanço das Atividades Estruturantes 2011MCTI.: Brasília.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.(2012). **Programa de Tecnologia 2012**. Brasília.

MONTIBELLER F., G.(2007). **Empresas, desenvolvimento e ambiente: diagnóstico e diretrizes de sustentabilidade**. Barueri: Manole.



O'CONNOR, J. (1998). **Natural Causes**: essays in ecological marxism. New York: The Guilford Press.

PAULA, J. A.; MONTE-MÓR, R. L. de M.(2000). Biodiversidade, população e economia: uma experiência interdisciplinar. In: TORRES, H. e COSTA, H. (Org.). **População e meio ambiente**: debates e desafios. São Paulo: Senac.

RATTNER, Henrique.(2005). **Nanotecnologia e a política de ciência e tecnologia**. Passages de Paris 2. 180–188. [www.apebfr.org/passagesdeparis](http://www.apebfr.org/passagesdeparis).

RITTER, S. K.(2001). **Green chemistry**.Chem. Eng. News, v. 79, n. 27.

ROMEIRO, A. R.(2003). Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, P.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Campus.

SÁENZ, T.W.; SOUZA-PAULA, M.C.(2008). **Convergência tecnológica**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

SANDLER, R. **Nanotechnology**: the ethical and social issues.(2009). Woodrow Wilson International center for Scholars .The Pew Charitable Trust.

SCHNAILBERG, A.(2006). Contradições nos futuros impactos socioambientais oriundos da nanotecnologia. In: MARTINS, P.R. (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**. p.49-68. São Paulo: Xamã.

ZIONI, F. Ciências Sociais e Meio Ambiente.(2005). In: PHILIP JR A.; PELICIONI M. C.F **Educação ambiental e sustentabilidade**. p.39-58. Barueri: Manole.