

# Fundamentos para a regulamentação da nanotecnologia no Brasil: uma abordagem jurídico-ambiental sobre o conteúdo da análise de riscos

Carol Manzoli Palma<sup>1</sup>

Resumo: A nanotecnologia é uma escala da tecnologia que trabalha com partículas do tamanho nano (um bilionésimo de metro). O presente artigo elenca estudos sobre os possíveis impactos trazidos por esta atividade, e aborda a necessidade da criação de uma legislação específica aplicada à mesma, pautada no princípio da precaução, e que contemple a obrigação de uma acurada análise de riscos antes da colocação de nanomateriais no ambiente.

*Palavras-chave: Nanotecnologia, Direito Ambiental, Princípio da Precaução e Análise de Riscos*

Resume: Nanotechnology is a range of technology that works with particle size of nano (a billionth of a meter). This article lists studies of possible impacts brought by this activity, and addresses the need for specific legislation applicable to it, based on the precautionary principle, and which includes the obligation of an accurate risk analysis before the placement of nanomaterials in the environment.

*Key-words: Nanotechnology, Environmental Law, Precautionary Principle and Risks Analysis*

Sumário: 1. Introdução; 2. A nanotecnologia; 3. Os riscos da nanotecnologia; 4. A necessidade da criação de uma lei dispendo sobre o uso da nanotecnologia no Brasil; 4.1 Fundamentos norteadores de uma lei dispendo sobre a nanotecnologia: o princípio da precaução e a análise de riscos; 5. Conclusões; 6. Bibliografia.

## 1. Introdução

Desde as raízes da filosofia grega, em um período conhecido como pré-socrático, Tales de Mileto e seus sucessores, já começavam a buscar conhecimentos acerca da natureza da matéria. Duzentos anos depois, o filósofo Demócrito, (470-370 a.C.) conjecturou pela primeira vez o mundo como sendo uma infinita combinação de átomos (ZILLES, 1998). O pensador

---

<sup>1</sup> Lawyer, Environmental Consultant, Master student in Law at Universidade Metodista de Piracicaba-UNIMEP, Brazil. Contact: [carolmanzoli@yahoo.com.br](mailto:carolmanzoli@yahoo.com.br)

defendia que o átomo era a última partícula da matéria, sendo, portanto, indivisível.

Em 1959, o físico norte americano Richard Phillips Feynman apresentou uma Conferência no Instituto de Tecnologia da Califórnia, denominada “There’s Plenty of Room at the Bottom”.<sup>2</sup> Nesta ocasião, ele apontou para a possibilidade de se “manipular as coisas átomo por átomo.” (MARTINS in DEGRAVE, EMERICK e MONTENEGRO, 2007). O físico não utilizou a palavra “nanotecnologia”, mas esta era a primeira vez que a idéia sobre o assunto seria lançada.

O homem cada vez mais, desenvolve tecnologias complexas, ou aprofunda setores específicos de tecnologias existentes, movimentando os juristas a buscarem tratamento legal a elas com o intuito de proteger o invento novo, a sociedade, e a economia. A nanotecnologia está ganhando espaço dentro desse campo, e um diálogo sobre sua aplicação, seus riscos e suas perspectivas, deve ser aprofundado. Este trabalho pretende contribuir com as discussões nesse sentido, trazendo a reunião de estudos internacionais sobre os riscos da nanotecnologia, e sugerindo alguns passos essenciais para a análise destes riscos.

## **2. A nanotecnologia**

A expressão “nanotecnologia” foi empregada pela primeira vez por Norio Taneguchi, da Universidade de Ciências de Tóquio. Ele utilizou-a “para descrever a fabricação precisa de novos materiais com tolerâncias nanométricas.” (MARTINS *in* DEGRAVE, EMERICK e MONTENEGRO, 2007).

O termo “nano” representa o indicador de uma medida. Um “nano” equivale a um bilionésimo de metro. (SHATKIN, 2008). A nanotecnologia, por sua vez, “se refere a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas que para serem enxergadas requerem

---

<sup>2</sup> Em português: “Há muito espaço lá embaixo”.

microscópios especiais (STM e SPM).<sup>3</sup> (MARTINS *in* DEGRAVE, EMERICK e MONTENEGRO, 2007).

A partir da década de oitenta, um número razoável de produção bibliográfica começou a ser publicada nesta área, em especial nos Estados Unidos e na Inglaterra. No Brasil, os estudos científicos desenvolveram-se mais tarde, com a entrada do século XXI.

### **3. Os riscos da nanotecnologia**

A nanotecnologia é uma escala da tecnologia e não um tipo desta, e pode ser aplicada nos mais diversos setores econômicos, como medicina, engenharia, eletrônica, comunicações, cosméticos, aditivos, purificação da água e agricultura (SHATKIN, 2008).

A utilização da nanotecnologia poderá futuramente ser aplicada na medicina (nanopartículas como transportadoras de produtos farmacêuticos, ou como instrumentos de nano cirurgia robótica) e ao uso militar, para fins armamentistas e para os sistemas de comunicação. (SCOVAZZI, 2005) Também se projeta o uso da nanotecnologia para seguimentos ambientais, tais como para tratamento da água, eliminação de produtos químicos tóxicos e redução do consumo de energia da água.

As oportunidades de desenvolvimento deste setor se tornam todos os dias mais vastas, e representam um grande potencial de inovação tecnológica. Não está claro, no entanto, quais são os riscos advindos dos produtos articulados em escala nano, ao meio ambiente e aos seres vivos. Não é ainda compreensível se tais partículas, por serem extremamente pequenas, podem adentrar na cadeia alimentar, ou como podem afetar as florestas e a qualidade do ar, por exemplo (SHATKIN, 2008). Quando o tamanho é em nano, a presença de moléculas individuais se torna relevante, uma vez que podem existir efeitos químicos e/ou físicos os quais não estão presentes em escalas maiores. Há muito que se sabe que o resultado de toxicidade é progressivamente maior conforme a dimensão das partículas diminui.

---

<sup>3</sup> STM e SPM são siglas em inglês, utilizadas para representar os microscópios utilizados na visualização das nanopartículas. STM é a sigla para Scanning Tunneling Microscope, e SPM, é a sigla para Scanning Probe Microscope.

(BOUCHER, 2008). Por estas razões, os riscos da nanotecnologia não podem ser estudados com base na toxicidade presente nos mesmos materiais em macro escala, ou seja, não se pode tratar os nanomateriais como *equivalentes* aos materiais de tamanho macro.

Hunt e Mehta (2006) apontam para algumas evidências potenciais de que a exposição a estas partículas pode causar impactos na saúde humana através da respiração. Os autores, indicando estudos das “Royal Society and Royal Academy of Engineering”,<sup>4</sup> de 2004, destacam para a possibilidade de nanopartículas causarem danos em nível neural e celular, podendo adentrar no cérebro.

Nesse sentido, Kunz e Theodore (2005) também assinalam para estudos feitos por Günter Oberdörster, professor de Toxicologia da Universidade de Rochester, nos Estados Unidos, e seu grupo, os quais demonstraram que partículas de tamanho nano inaladas por ratos, se acumularam em suas cavidades nasais, em seus cérebros e pulmões. Os cientistas especulam que isto poderia levar a inflamações danosas e ao risco de danos cerebrais ou desordens do sistema nervoso central. Oberdörster e seu grupo, também ligaram moléculas de carbono - que se parecem com pequenas bolas de futebol, e por isso chamadas em inglês como “buckballs” - a danos cerebrais em peixes (ALLHOF e LIN, 2008).

A Agência de Proteção Ambiental (sigla em inglês EPA) dos Estados Unidos,<sup>5</sup> realizou um estudo em fevereiro de 2007, sobre os riscos e a regulamentação da nanotecnologia, e relatou que os nanomateriais afetam organismos aquáticos e terrestres de forma diferente do que os mesmos materiais em tamanhos de partículas maiores. Colocou ainda, que a toxicidade deste material é muito complexa e multifatorial, dependendo de aspectos como o tamanho, a forma das partículas e as propriedades de superfície – carga, área e reatividade química - das mesmas. Comparando-se as propriedades de uma mesma substância na forma macro e nanopartículas, a EPA afirmou ser possível estimar a tendência de nanomateriais entrarem em células e se acumularem em seu interior.

---

<sup>4</sup> Em português: “Sociedade Royal e Academia Royal de Engenharia”.

<sup>5</sup> O relatório completo, chamado *Nanotechnology White Paper*, pode ser acessado no seguinte endereço eletrônico: <<http://www.epa.gov/OSA/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>>

Observando os efeitos de nanopartículas no meio ambiente aquático, Lovern e Klaper, com estudos publicados em 2005 e 2006, citados pela EPA (2007), demonstraram que estas partículas, ao serem colocadas na água, se acumularam no interior do organismo de pulgas d'água ("*Daphnia magna*") - animais muito utilizados para ensaios de toxicidade aquática - impedindo a capacidade de natação das formas jovens, e causando desorientação entre as adultas.

A Agência de Proteção Ambiental (2007) trouxe ainda, que Shedova e colaboradores, em 2005, relataram respostas inflamatórias incomuns a determinados tipos de nanomateriais em mamíferos, sugerindo que alguns destes materiais podem causar danos aos órgãos por novos mecanismos de toxicidade, ainda desconhecidos. Também foram avaliados efeitos de nanomateriais de alumina em plantas de milho, pepino, soja e cenouras, tendo sido demonstrado que tais partículas causaram um menor crescimento das raízes destas plantas. Quando o experimento foi reproduzido com partículas de alumina bem maiores, este fenômeno não foi observado (YANG E WATTS *apud* EPA).

#### **4. A necessidade da criação de uma lei dispendo sobre o uso da nanotecnologia no Brasil**

A questão principal para se iniciar um diálogo sobre a construção de uma legislação neste campo é: as leis existentes atualmente são suficientes? Segundo Valle, (*in* DEGRAVE, EMERICK e MONTENEGRO, 2007) "o Brasil não possui normas que atendam o nível de complexidade da nanociência e nem marco regulatório para a nanotecnologia." Completa o autor dizendo que "os procedimentos de segurança atualmente existentes no campo da nanociência no Brasil são de caráter voluntário e dependem da consciência de cada pesquisador, o que coloca em risco a sociedade".

A nanotecnologia continua se desenvolvendo, e os profissionais da área jurídica, por sua vez, devem buscar a formação de bases norteadoras de uma legislação que seja eficaz, que proteja os seres vivos e o meio ambiente,

disciplinando as pesquisas e o uso da nanotecnologia dentro de uma margem que evite - e não somente mitigue - a ocorrência de danos.

#### **4.1 Fundamentos norteadores de uma lei sobre nanotecnologia: o princípio da precaução e a análise de riscos**

É possível concluir que como toda nova descoberta, a nanociência precisa ser estudada amplamente antes da tomada de qualquer ação, o que não vem ocorrendo, uma vez que alguns materiais compostos de nanopartículas já estão no mercado (SELLERS, 2008).

Conforme supracitado, existem pesquisas que apontam que a nanotecnologia pode causar riscos de danos potenciais à fauna, à flora e aos seres humanos. Um risco pode ser visto como chance ou probabilidade de perda da qualidade ou má consequência à saúde humana e ao meio ambiente. Ele denota a possibilidade de um estado de realidade atual ser modificado através de ações humanas. Beck *apud* Machado, (2009) coloca que "...a verdadeira força social do argumento do risco reside justamente nos perigos que se projetam para o futuro. Na sociedade do risco, o passado perde sua função determinante para o presente. É o futuro que vem substituí-lo e é, então, alguma coisa de inexistente, de construído, que se torna a 'causa' da experiência e da ação no presente".

A probabilidade da existência de riscos enseja o emprego do Princípio da Precaução. Este preceito surgiu na década de 70 na Alemanha e foi consolidado como Princípio 15 na Declaração do Rio de Janeiro. Ele preconiza que quando houver ameaças de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental. A questão primordial que se revela no preceito, é que a incerteza científica não pode servir de fundamentação para preterir-se ações diligentes na evitação do dano.

Desdobrando-nos sobre a aplicação e conteúdo deste princípio, podemos notar que a incerteza científica a que se refere o preceito, pode ser pragmática ou teórica. A primeira pode ser traduzida como a falta de dados, a dúvida sobre a exatidão dos dados ou ainda, a dúvida sobre a relevância dos dados. A

segunda, por sua vez, pode ser glosada como o desacordo sobre a interpretação do dado, o desacordo sobre a metodologia científica utilizada, a falta de conhecimentos sobre conexões causais ou a dúvida chamada de epistemológica (BEDER, 2006). Qualquer destes tipos de incerteza é suficiente para a aplicação do princípio da precaução.

Além disto, nos sistemas chamados de abertos, que são os sistemas naturais - diferentemente dos sistemas complexos, que são os criados e controlados pelos seres humanos - é impossível antever todas as suas variações, ainda mais quando se trata de partículas tão pequenas, onde não se conseguiu ainda, criar uma estimativa de todas as interações que elas podem apresentar no meio ambiente (BEDER, 2006).

Através dos argumentos acima mencionados, podemos sugerir que a aprovação para uso, comercialização, disposição e aplicação dos nanomateriais, enfrente uma detalhada análise de riscos, que leve em conta os seguintes procedimentos:

- 1) Identificar os riscos.

Primeiramente, os riscos envolvidos em todos os momentos de exposição a estes materiais, desde a produção, até a limpeza, o estoque e o transporte, devem ser estudados e enumerados. Devido ao fato de que os nanomateriais são freqüentemente estruturados para apresentarem propriedades muito específicas, a EPA (2007) aduz que é razoável presumir que eles podem apresentar efeitos toxicológicos incomuns quando acumulados. Assim, sugere-se que estes estudos sejam realizados em baixas doses (sub-letais) de múltiplas medidas, para se compreender o risco da exposição crônica a estes materiais. Os estudos sobre o bioacúmulo também devem incluir cuidadosas considerações sobre a forma de utilização e descarte dos nanomateriais, para a compreensão da toxicidade comum à função da concentração destes.

- 2) Caracterizados os riscos, deve-se criar mecanismos de segurança que irão impedir a exposição não planejada a estas partículas.

Nem todas as nanopartículas são iguais, e diferentes tipos de níveis de segurança devem ser exigidos, dependendo dos riscos que ofereçam (HOLMAN e NORDAN, 2005). Através destes níveis, dever-se-á criar formas de cuidados específicos para o uso, aplicação e descarte, e instrumentos de atuação em caso de acidentes.

### 3) Balanço dos benefícios e riscos a longo prazo.

“Pode-se com certeza considerar ou calcular os efeitos em curto prazo de uma ação, mas seus efeitos em longo prazo são imprevisíveis.” (MORIN, 2000). Sugere-se que entre os protocolos de teste para se examinar os riscos dos nanomateriais para os organismos terrestres, sejam consideradas, em longo prazo, observações de sobrevivência, crescimento e reprodução destes organismos (microorganismos, plantas e animais). Esse último passo é importante, e muitas vezes não apreciado em uma análise de riscos.

Pensar em longo prazo significa sopesar se depois de um tempo razoável, fatores como a melhoria e a manutenção da qualidade de vida, e de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, estarão sendo mantidos. Em um segundo momento, as comodidades que o desenvolvimento de novas tecnologias nos trarão, também devem ser avaliadas. O fato de o desenvolvimento estar em segundo relevo, é porque de nada adianta colocarmos em primeiro lugar um fator que poderá prejudicar a biosfera em que vivemos, tendo em conta que a sociedade só se manterá se houver condição propícia à continuação da vida. Podemos dizer que a sociedade é a parte fraca desta relação, e sem sociedade não há de se falar em desenvolvimento, e é por este motivo que em um balanço de todos os fatores, os riscos não podem ultrapassar os benefícios. Os benefícios mencionados não são os de ordem econômica, mas sim os de maior comodidade que a tecnologia poderá nos propiciar.

Vale dizer que a análise de riscos deve ser realizada por profissionais competentes e independentes, sem compromissos com empresas de tecnologia. Um juízo técnico exige a presença de profissionais das áreas de interface e afins (como por exemplo, engenheiros, físicos, químicos, biólogos, médicos, etc.), dependendo do sistema biológico objeto do estudo. Mas é



preciso que outros profissionais participem de tais avaliações, como representantes de associações e organizações não governamentais que tenham atribuições como controle de qualidade, preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável, e que sejam mantidas sem auxílio do governo e de partidos políticos. Este quadro deve também incluir juristas que tenham como função orientar se os estudos estão sendo pautados na legislação nacional e nos tratados internacionais existentes sobre o assunto.

Uma futura lei que tenha como objetivo a regulamentação da nanotecnologia deve, portanto, observar o princípio da precaução, e uma de suas vertentes deve ser a realização da análise de riscos e a adoção de medidas que evitem a ocorrência de danos ao seres vivos e ao meio ambiente, com base nos elementos acima colocados.

## **5. Conclusões**

O uso dos nanomateriais pode futuramente trazer benefícios aos seres humanos, mas é preciso um estudo mais detalhado a respeito de seus efeitos. Paulo Affonso Leme Machado (2009) bem elucida que o adequado emprego do tempo para planejar e deliberar, “não legitima o aventureirismo, que age sem considerar os prós e contras, que não se importando com os resultados, dá chance para resultados prejudiciais para os seres humanos, a fauna e a flora.”

A sociedade jurídica necessita iniciar um diálogo maior sobre a nanotecnologia, propiciando a criação de uma legislação eficaz, pautada nos direitos constitucionais a um meio ambiente ecologicamente equilibrado e à sadia qualidade de vida.

A legislação a ser elaborada deve contemplar o princípio da precaução como fundamento, e como norma de emprego obrigatório para a tomada de decisões. A análise de riscos deve fazer parte desta legislação, o que de modo algum afasta a necessidade da realização do estudo de impacto ambiental, pois ambos os institutos visam à não aceitação do dano ambiental, e normalmente se integram. Questões ligadas à identificação e eliminação dos riscos devem ser respondidas, antes da colocação destes materiais no

ambiente. As nanopartículas devem ser estudadas através de seu bioacúmulo em longo prazo nos locais de ação, e estes trabalhos não podem ter como base a equivalência dos nanomateriais com os materiais de mesma composição em tamanho macro.

Há de se desenvolver trabalhos dentro desta linha, sobre formas de controle e disposição deste material, e sobre o direito à informação, onde se inclua as medidas a que devem ser tomadas em caso de acidentes, a rotulação de produtos compostos por nanomateriais, e a divulgação pública da análise de riscos e do estudo prévio de impacto ambiental.

O cuidado na recepção de novas tecnologias e métodos não significa o sobrestamento do desenvolvimento, ou que todas as pesquisas estão impedidas, mas sim que estas pesquisas serão feitas de modo cauteloso, propiciando à sociedade, a confiança de uma vida mais segura e saudável.

## 6. Bibliografia

ALLHOF, Fritz; LIN, Patrick. (Orgs.) *Nanotechnology & Society: Current and Emerging Ethical Issues*. Nova Iorque: Springer. 2008. 300 p.

BEDER, Sharon. *Principles and Policies- An interdisciplinary approach*. Sydney: UNSW Press, 2006. 304 pg.

BOUCHER, P. M. *Nanotechnology: legal aspects*. Nova Iorque: CRC Press-Taylor and Francis Group, 2008. 250 p.

BUGGE, Hans Christian; VOIGT, Christina. (Orgs.) *Sustainable Development in International and National Law: What Did the Brundtland Report Do to Legal Thinking and Legal Development, and Where Can We Go from Here?*. Groningen: Europa Law Publishing, 2008. 591 p.

DEGRAVE, Wim; EMERICK, Maria Celeste; MONTENEGRO, K. B. M. (Orgs.) *Novas tecnologias na genética humana: avanços e impactos para a saúde*. Rio de Janeiro: GESTEC-Nit, 2007. 252 p;

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Nanotechnology White Paper*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/OSA/pdfs/nanotech/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>>. Acesso em 21 mar. 2009.

HUNT, Geoffrey; MEHTA, Michael. *Nanotechnology: risks, ethics and Law*. Londres: Earthscan, 2006. 296 p.

HOLMAN, Michael W.; NORDAN, Mathew M. A prudent approach to nanotechnology environmental, health, and safety risks. *Industrial Biotechnology*, Nova Iorque, p. 146-149, 2005.

KUNZ, Robert G.; THEODORE, Louis. *Nanotechnology: Environmental Implications and Solutions*. Malden: Wiley – Interscience: 2005. 400 p.

MACHADO, Paulo Affonso Leme. *Direito Ambiental Brasileiro*. 17ª ed. São Paulo: Malheiros, 2009. 1136 p.

MARTINS, Paulo Roberto (Org.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente- Segundo Seminário Internacional*. São Paulo: Xamá, 2006. 344 p.

MORIN, Edgard. Os saberes necessários à educação do futuro. 2ª ed.- São Paulo – Cortez- Brasília, DF – UNESCO, 2000. 118 p.

SCOVAZZI, Tullio. Nanotecnologie e diritto dell' ambiente. *Rivista Giuridica dell'Ambiente*. Milão, Giuffrè, 2005, n. 2, p. 367-371.

SELLERS, Kathleen [et al]. *Nanotechnology and the Environment*. Boca Raton: CRC Press, 2008. 296 p.

SHATKIN, Jo Anne. *Nanotechnology: Health and Environmental Risks*. Nova Iorque: CRC Press – Taylor and Francis Group, 2008. 167 p.

ZILLES, Urbano. *Teoria do Conhecimento*. 3ª ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998.172 p.