

NANOTECNOLOGIA E RISCOS: DIFERENTES PERCEPÇÕES SOBRE RISCOS DOS NANOTUBOS DE CARBONO

*Tade-Ane AMORIM**

RESUMO: Neste artigo aponta-se como agências governamentais e iniciativa privada discutem a regulamentação das nanotecnologias, mostrando que diferentes propostas de regulamentação estão relacionadas a diferentes percepções sobre análises de riscos. O trabalho analisa documentos produzidos por agências governamentais, Environmental Protection Agency – EPA, nos Estados Unidos, *Royal Society*, no Reino Unido e Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação no Brasil e pelas indústrias químicas DuPont e Bayer que discutem regulamentações dos nanotubos de carbono. Apontou-se que, frente aos desafios colocados pela nanotecnologia, cientistas, indústria e políticos apresentam respostas bastante variadas para o enfrentamento de tais desafios. Observou-se que essas diferentes respostas se dão em paralelo, não há uma evolução, mas uma situação complexa se desenha. Verificou-se que há expressivas diferenças na forma como os riscos são percebidos e enfrentados por tais agências e indústrias, e que tais percepções refletem, de modo mais amplo, o entendimento de ciência de tais entidades no momento da publicação do documento analisado.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos. Nanotubos de carbono. Sociologia da ciência.

Neste artigo, apresentam-se as formas pelas quais agências governamentais e iniciativa privada discutem a regulamentação das nanotecnologias, mostrando que as diferentes propostas de regulamentação estão relacionadas a diferentes percepções sobre as análises de riscos. Várias organizações vêm discutindo sobre

* UNISUL – Universidade do Sul de Santa Catarina – Departamento de Ciências Humanas de Ciências da Educação de Letras e Artes. Tubarão – SC – Brasil. 88704900 – tadeamorim@gmail.com

os riscos das nanotecnologias e a necessidade de regulamentação, ver por exemplo, *ETC Group* (2003, 2004, 2006); *Royal Society and Royal Academy of Engineering* (2004, 2008); *Friends of the Earth Australia* (2005); EPA (2007, 2008); DuPont & EDF (2007).

As discussões são apresentadas considerando a abordagem de duas agências governamentais, o *Environmental Protection Agency* (EPA), dos Estados Unidos e a *Royal Society and Royal Academy of Engineering*, do Reino Unido, bem como a de uma empresa privada, a DuPont. O EPA e a *Royal Society* são utilizadas na pesquisa por serem as agências que têm contribuído fortemente para promover a discussão sobre riscos na nanotecnologia. O EPA é, desde a década de 1960, uma agência que influi nos padrões e critérios sobre análise de risco em várias agências de outros países. Já o relatório de junho de 2004 publicado pela *Royal Society* é um marco na discussão sobre governança antecipatória de novas tecnologias (MACNAGHTEN; GUIVANT, 2011). Da mesma forma, a DuPont é usada como um caso para nosso estudo, pois é uma indústria química que desenvolve produtos com nanotecnologia e adota uma postura antecipatória perante os riscos da nanotecnologia, assumindo a conduta de não utilizar nanotubos de carbono em seus produtos até que a empresa tenha mais clareza sobre os riscos desses produtos. Ainda que de modo mais breve, será apresentado também o posicionamento da indústria química Bayer e do livro verde do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, publicado no ano de 2001 (BRASIL, 2001).

Frente aos desafios que as nanotecnologias oferecem a cientistas, indústria e políticos, as respostas para o enfrentamento desses desafios variam bastante. Na análise sobre discussão dos riscos dos nanotubos de carbono e regulamentação da nanotecnologia, verificou-se que há uma ampla gama de possibilidades. Com o intuito de categorizá-las, são indicados três tipos de respostas identificadas entre cientistas e organizações na discussão sobre os riscos da nanotecnologia. Essas respostas vão da negação dos riscos ao entendimento de que a ciência é essencialmente contingente e, por isso, os riscos são impremeditados, passando por respostas mais tradicionais na avaliação e comunicação de riscos.

Entre as agências e empresas privadas, há diferentes abordagens sobre a forma como percebem a relação com o público, com a ciência e, de modo mais amplo, com a análise de risco. Assim, divide-se a análise em três categorias que representam diferentes percepções sobre análise de risco.

A negação de riscos: ou se eu não sei quais são os riscos, o melhor é ignorá-los

No contexto nacional, nossas pesquisas encontraram poucos documentos que abordam a discussão sobre os riscos da nanotecnologia no geral e o mesmo acontece em relação aos nanotubos de carbono. Pois há pouca publicação científica, tanto em periódicos nacionais ou de pesquisadores brasileiros entre os autores de artigos publicados em periódicos internacionais que tematizam os riscos dos nanotubos de carbono. Além disso, há uma ausência de normatizações ou pareceres das agências regulamentadoras.

No *Livro Verde da Ciência e Tecnologia: o avanço da ciência e do conhecimento*, lançado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2001), no segundo capítulo, “Avanço do conhecimento”, há uma seção dedicada às nanotecnologias e à nanociência. Inicia-se com uma conceituação sobre o que é nanotecnologia, focando na escala para designar suas características:

O documento não menciona possibilidades de riscos das nanotecnologias, tampouco é mencionado se é uma tecnologia segura. Embora esta discussão não esteja em pauta, há afirmações claras de que as nanotecnologias não alteram as propriedades químicas dos compostos: “A nanotecnologia possibilita melhorar as propriedades dos materiais **sem alterar sua composição química**, ou seja, embora as mesmas moléculas (ou grupos de átomos) continuem presentes, seu arranjo ou disposição espacial pode ser diferente [...]”¹, (BRASIL, 2001, p.79, grifo nosso).

Além disso, no texto, é estabelecida a relação entre nanotecnologia e uma possibilidade maior de domínio da natureza, uma vez que associam a nanotecnologia a processos que ocorrem naturalmente na biologia; assim, o domínio das técnicas que empregam a nanotecnologia seria também o domínio da natureza. No trecho a seguir, essa relação é explícita:

[...] a maioria dos fenômenos em biologia molecular ocorre na nanoescala, o uso das técnicas de nanociências em biologia leva a um entendimento mais profundo de como a **natureza funciona e sobre possíveis formas de controlar seu desempenho**. (BRASIL, 2001, p.80, grifo nosso).

¹ Esse entendimento é diferente do EPA e do *Department for Environment Food and Rural Affairs* (DEFRA), que exigem notificações de empresas que usam nanotubos de carbono, por exemplo, por entenderem que, mesmo sendo do mesmo material que outros produtos na escala métrica, em escala nanométrica as propriedades químicas são alteradas.

No mesmo capítulo do livro, são apresentados quadros mostrando as diversas áreas e no que se destacam em termos de avanços e desafios em seu campo de conhecimento. Nos quadros da física e da química, há menção à nanotecnologia. E, em ambos, é apontada a mesma relação, na qual se almeja o domínio da natureza.

Mas é na apresentação do Quadro 8, intitulado “A fábrica do futuro”, que a relação entre nanotecnologia e natureza se torna mais evidente. E ainda se amplia a ideia de nanotecnologia como algo revolucionário.

Figura 1 – A Fábrica do Futuro

Quadro 8
A fábrica do futuro

As técnicas de fabricação de que dispomos são ainda muito primitivas, se comparadas àquelas da natureza. O fio de uma teia de aranha, por exemplo, tem a resistência de um fio de aço do mesmo diâmetro, mas é muito mais flexível. A produção do fio de aço exige uma seqüência complexa e custosa de fabricação. Da extração do minério de ferro até o produto final, o processo de fabricação é caro, demorado, consome uma quantidade enorme de energia e é altamente poluente. Comparemos esta seqüência de etapas de fabricação com a simples produção do fio da teia de aranha: silencioso, limpo e eficiente. Qual a diferença? A glândula da aranha que produz o fio manipula quase que diretamente os átomos que constituem suas moléculas. Ela emprega uma técnica de fabricação extremamente sofisticada, manipulando a matéria de “baixo para cima”, isto é, dos átomos e moléculas invisíveis para o produto final, visível. Esta técnica é aquilo que os cientistas chamam de nanofabricação: a montagem de materiais e dispositivos átomo por átomo, molécula por molécula. Já nossas técnicas metalúrgicas, herdadas da antiguidade e aperfeiçoadas pela ciência mais recente, são extremamente cruas e manipulam a matéria, por assim dizer, de cima para baixo, do visível (material) para o invisível (átomos). A ciência moderna ambiciona, cada vez mais, imitar a aranha em lugar de imitar a forja de Plutão, o mítico deus da antiguidade que forjava metais em meio ao barulho e calor de sua siderúrgica primitiva.

As máquinas do futuro empregarão mais componentes miniaturizados e materiais produzidos por técnicas que se aproximarão, progressivamente, daquelas empregadas pela natureza, por exemplo, na “produção” de uma formiga. A formiga é uma pequena “máquina” que se autoconstrói, dotada de sensores químicos e eletromagnéticos poderosos, atuadores mecânicos potentes, capaz de se locomover e identificar onde precisa atuar para conseguir os resultados desejados. Mesmo nossas melhores máquinas são ainda primitivas, se comparadas à sofisticação de uma formiga, e precisam ser construídas com enorme paciência e alto custo. Como na produção da formiga, o objetivo da nanofábrica do futuro é produzir máquinas que se autoconstruam, que se montem e se reparem sozinhas.

Para chegar lá, o nosso conhecimento da natureza ainda precisa avançar muito. Pesquisas multidisciplinares em física, química, biologia, engenharia de materiais, computação, matemática serão necessárias para que os processos de manufatura de artefatos humanos se aproximem em eficiência ao uso de matérias-primas e energia, na preservação do meio ambiente e na engenhosidade daqueles empregados pela natureza na produção de seres vivos. As próximas décadas prometem ser fascinantes na busca de soluções para esses problemas.

Fonte: Brasil (2001, p.69).

A natureza é representada como uma máquina perfeita que deve servir como modelo para a ciência. Há uma forte aproximação da nanotecnologia com cenários de ficção científica, que fica evidente com a menção às nanomáquinas que se auto-reproduzem. Essa relação aponta para um entusiasmo ingênuo; na medida em que as máquinas se autoconstruiriam, o domínio da natureza que se deseja com a nanotecnologia seria concedido às máquinas e não aos humanos. Esse sentido mítico e futurista alimenta a fobia sobre a nanotecnologia, na medida em que a relaciona a cenários irreais de auto reprodução. É, de certa forma, surpreendente que tais afirmações estejam em documentos oficiais do governo brasileiro. Ainda que o documento tenha sido escrito em 2001, período em que predominava uma visão mais revolucionária das nanotecnologias (AMORIM, 2008), em nenhum outro relatório

governamental percebe-se uma visão tão otimista e, ao mesmo tempo, tão ingênua sobre as possibilidades da nanotecnologia. Isso de certa forma mostra o isolamento da comunidade científica brasileira frente aos debates sobre nanotecnologia².

Outro exemplo de negação dos riscos da nanotecnologia foi dado pela Bayer, indústria química sediada na Alemanha, que em 2009 inaugurou uma fábrica com capacidade para 200 toneladas de nanotubos de carbono ao ano. Num dos encartes publicitários da Bayer há a figura abaixo, com a seguinte frase em destaque:

Nanotubos de carbono não só melhoraram o desempenho de baterias de lítio e são utilizados em células de combustível, mas também aumentaram a produção de energia de turbinas eólicas. Agora os Baytubes® da Bayer MaterialScience podem até mesmo aumentar a eficácia dos esforços para proteção do clima. A produção de alumínio quase tão duro quanto o aço permitirá construções de ultraleves, que gerarão economia de combustível em carros e aviões. (BAYER, 2011).

Figura 2 – Encarte publicitário da Bayer



Fonte: Bayer (2011).

² Um exemplo desse isolamento foi observado no evento Nanomed, na Universidade Federal de Uberlândia, no ano de 2007, em que, em uma das conferências, a autora desse artigo presenciou o palestrante explicando que o uso do nanotubo de carbono é algo absolutamente seguro uma vez que é feito da matéria prima mais abundante na natureza: o carbono.

Este encarte publicitário, chamado *Research*, apresenta ainda uma breve entrevista com Dr. Uwe Vohre, reproduzida, abaixo, na íntegra.

Nanotubos de carbono podem ser prejudicial à saúde? Infelizmente, não existe uma resposta universal para essa pergunta, porque nem todos os nanotubos são os mesmos. Entre os produtos fabricados, há uma diferença muito grande, por exemplo em termos de comprimento e diâmetro dos tubos, ou dos catalisadores utilizados na produção. **Para Baytubes®, no entanto, a pesquisa atual mostra que o risco para o homem e para o ambiente a partir de aglomerados CNT pode ser descartado quase que inteiramente.** Um toxicologista nunca diria que o risco é zero, porque até mesmo **o sal de mesa pode ser tóxico se você consumir grandes quantidades do mesmo.**

Quão seguros são os produtos contendo nanotubos? Os nanotubos são firmemente ligados a compósitos de plástico. Não encontramos quaisquer partículas de nanotubos livres em quaisquer dos produtos. (BAYER, 2011, grifo nosso).

A Bayer, através do discurso do cientista, busca relacionar os nanotubos de carbono à proteção ambiental. Afinal, quem poderia se opor a um elemento químico que amplia a energia eólica e permite a fabricação de carros e aviões que gastam menos energia? Já o recorte da entrevista com o pesquisador, que é apresentado como um *expert* em caracterização de nanotubos de carbono e pesquisador de segurança da *Interfacial Engineering and Biotechnology* (IGB) de *Stuttgart*, relaciona a possível toxicidade dos nanotubos de carbono à toxicidade do sal de cozinha. Essa relação beira ao absurdo, na medida em que reproduz um discurso vazio do tudo tem riscos e, por tudo ter riscos, não há o que fazer, a não ser se resignar.

Certamente, há outras indústrias, setores governamentais e cientistas que poderiam ser enquadrados neste tipo de entendimento, mas considerando que esta pesquisa focou na constituição dos nanotubos de carbono como um risco, foi seguido um fluxo que a distanciou de outros possíveis exemplos. Se outro caminho tivesse sido percorrido, como por exemplo discutir o fato de que nanotubos de carbono é um material que apresenta possibilidades para a limpeza das águas subterrâneas, possivelmente seriam encontradas mais citações como essas.

Os riscos existem; nós não sabemos ao certo quais são, mas logo descobriremos

Em trabalho anterior (AMORIM, 2011, p.149) analisou-se a constituição de riscos dos nanotubos de carbono em artigos científicos e percebeu-se que na maior parte dos artigos o entendimento era de que os riscos dos nanotubos de carbono são desconhecidos, mas com mais pesquisas tais riscos serão decodificados. Muitos dos artigos analisados terminam com a frase “[...] é necessário mais pesquisas para que se chegue a resultados mais conclusivos.”

É esperado que pesquisadores indiquem a necessidade de mais pesquisas, até por que isso significa mais investimentos em suas próprias atividades. Também é compreensível que os pesquisadores defendam que, com mais dados de pesquisas, mais conhecimentos, poderia se saber mais sobre o que atualmente não se sabe. Mas, do ponto de vista da análise sociológica essa postura apresenta algumas limitações. A primeira delas é que há o entendimento de que a produção do conhecimento se daria de forma cumulativa. Se essa afirmação não pode ser considerada errada, já que o conhecimento é realmente cumulativo, também não pode ser considerada totalmente certa, uma vez que o conhecimento não é uma linha contínua do não saber ao saber. A ideia do conhecimento como um vetor que é retroalimentado pela própria produção do conhecimento, tal como é apresentado por Latour (2008) é uma ideia mais interessante para este propósito. Pensar no conhecimento como uma retroalimentação é entender que a produção do conhecimento não modifica apenas o conhecimento do presente, mas, retrospectivamente, também modifica o que se conhecia no passado.

Da mesma forma, a ideia de que as pesquisas possam conduzir, no futuro, a respostas que não se tem hoje, está também relacionada à ideia de que a ciência é o espaço das respostas definitivas. Assume-se que não se sabe no presente, mas não se assume a ciência com suas incertezas inerentes. Essa perspectiva é, em parte, encontrada no documento de 2004 produzido pela EPA (EPA, 2004) que, naquele ano, iniciou um estudo para examinar os potenciais riscos ambientais da nanotecnologia e suas implicações. O resultado foi a publicação do EPA *Nanotechnology White Paper*, que neste artigo será chamado de Relatório ou *White Paper*, um documento com 120 páginas que contou com a colaboração de 65 pesquisadores ligados à EPA. Na apresentação, é encontrada a seguinte afirmação:

Este documento descreve os problemas que a EPA deveria considerar para garantir que a sociedade se beneficie dos avanços na proteção ambiental que a nanotecnologia pode oferecer, e para compreender e avaliar os eventuais riscos da exposição ambiental aos nanomateriais. (EPA, 2007, p.VIII).

Chama a atenção o enfoque dado às possibilidades de proteção ambiental que a EPA aponta como uma possibilidade de uso da nanotecnologia. Assim, a nanotecnologia é mostrada tanto com um potencial perigo que deve ser estudado, como um material com potenciais para a mitigação de danos ambientais. Ainda que, ao apresentar o conceito de nanotecnologia, se utilize a definição do *National Nanotechnology Initiative* (NNI), que enfatiza as características de escala e não traz juízos de valores declarados:

Nanotecnologia é pesquisa e desenvolvimento tecnológico a nível atômico, molecular ou macromolecular utilizando uma escala de comprimento de cerca de 1-100 nanômetros em qualquer dimensão. (EPA, 2007, p.5).

O mesmo não acontece quando, no Relatório, se apontam os desafios que a nanotecnologia coloca ao EPA, como pode ser verificado no seguinte trecho:

Um desafio para a proteção ambiental é ajudar a realizar plenamente os benefícios sociais da nanotecnologia, identificando e minimizando os impactos adversos aos seres humanos ou ecossistemas da exposição aos nanomateriais. Além disso, precisamos entender a melhor forma de aplicar a nanotecnologia para a prevenção da poluição nos processos de fabricação atual e na fabricação de novos nanomateriais e nanoprodutos, bem como na detecção ambiental, monitoramento e *clean-up*. Este entendimento virá de informação científica gerada por atividades de pesquisa ambiental e desenvolvimento dentro das agências governamentais, universidades e setor privado. (EPA, 2007, p.67).

Se compararmos esta citação com trechos dos documentos da *Royal Society* (2004) ou da *DuPont & Environmental Defense Fund – EDF* (2007), os quais serão analisados adiante, são identificadas significativas diferenças. Enquanto para *Royal Society* (2004) o maior desafio localiza-se no entendimento dos riscos que estão presentes no desenvolvimento da nanotecnologia, para a EPA (2007) a ênfase é outra.

Em outro trecho, o relatório mostra a necessidade de receber apoio público, e afirma que, para que tal apoio seja efetivado, a comunicação sobre os impactos da nanotecnologia precisa ser efetiva, bem como a manutenção de um diálogo com o público.

Ganhar e manter a confiança e o apoio do público é importante para **realizar plenamente os benefícios sociais e comunicar claramente os impactos da nanotecnologia**. O desenvolvimento responsável da nanotecnologia deve envolver

e incentivar um diálogo aberto com todas as partes interessadas sobre os potenciais riscos e benefícios. A **EPA está empenhada em manter o público informado sobre os potenciais impactos ambientais associados ao desenvolvimento de nanomateriais e suas aplicações.** (EPA, 2007, p.58, grifo nosso).

O público é tomado como uma categoria homogênea que precisa ser informada para que entenda os benefícios da nanotecnologia, e essa perspectiva aponta para uma ideia de ciência *standard*. Não há discussões sobre o que se entende por público, bem como se assume uma crença de que mais informações leva a mais adesão à nova tecnologia.

No último capítulo do Relatório há uma série de recomendações sobre como fazer avaliação de riscos da nanotecnologia. Explica-se que há necessidade de se desenvolver uma abordagem multidisciplinar, mas a multidisciplinaridade é restrita às ciências duras.

As recomendações são ligadas ao modelo quantitativo de análises de risco, e não há indicação sobre como os riscos podem ser diferentemente percebidos, bem como também não há discussões sobre as incertezas inerentes à ciência. O discurso presente se insere no modelo que acredita que a ciência deve estar na busca de certezas, que a lacuna entre o que não se sabe sobre os riscos da nanotecnologia serão preenchidos com mais dados científicos.

A discussão apresentada nos documentos da *Royal Society* (2004) analisados, e, de certa forma, também o *framework* da *DuPont* e *EDF* (2007), apontam para a necessidade de considerar a nanotecnologia e, de forma mais geral, a ciência, como ontologicamente portadora de incertezas. Nesse sentido, não se defende que há um *gap* de informações que um dia será completamente preenchido com mais pesquisas, mas se sugere que a ciência e a produção de tecnologia carregam consequências impremeditadas. A discussão, nesse sentido mais amplo, não é novidade, pois ela vem acontecendo a partir de debates anteriores sobre outros temas, como os Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) ou a doença da vaca louca (GUIVANT, 2001).

DuPont e EDF juntas na discussão dos riscos da nanotecnologia

A *DuPont* é uma indústria química que iniciou suas atividades em 1802 como uma indústria de explosivos e 100 anos mais tarde modificou seu ramo de atuação para produtos químicos e energia. Atualmente, possui fábricas em mais de 90 países, com aproximadamente 60 mil empregados e mais de 2000 pesquisadores. A *DuPont*

comercializa produtos na área de agricultura, nutrição, eletrônica, comunicação, segurança e proteção, construção, transportes entre outros. No ano de 2010, o seu faturamento foi de 34,2 bilhões de dólares. A empresa se apresenta como calcada em fortes princípios éticos, conforme se verifica no trecho da sua apresentação disponível no sítio da empresa:

Nossa capacidade de adaptação à mudança e nossa identificação com a interminável investigação científica, permitiu que a *DuPont* se tornasse uma das empresas mais inovadoras do mundo. Mas, em face da constante mudança, inovação e descoberta, os nossos valores fundamentais têm permanecido inalterados: compromisso com a segurança e saúde; gestão ambiental; comportamento elevado e respeito pelas pessoas.³

No ano de 2005, o CEO da *DuPont*, *Feed Krupp*, e o presidente do *Environmental Defense*⁴, Chad Holliday, escreveram uma matéria no *The Wall Street Journal* intitulada: *Let's Get Nanotech Right* (KRUPP; HOLLIDAY, 2005). Na matéria, os autores afirmam que são necessárias mais pesquisas sobre os riscos da nanotecnologia. Após apresentarem uma série de exemplos de tecnologias que se mostraram problemáticas depois de anos de uso, como o clorofluorcarboneto, que foi amplamente usado em refrigeradores antes que se encontrassem evidências de que é um gás prejudicial à camada de ozônio, os autores defendem que um exame aberto e inicial da nanotecnologia precisa ser feito antes que seus produtos sejam amplamente comercializados, e apontam ser essa conduta uma boa estratégia, não apenas para defesa da população, mas também para as empresas. Eles afirmam que: “Com a combinação certa de liderança empresarial, pesquisa coordenada e regulação, podemos colher benefícios desta tecnologia promissora e, ao mesmo tempo, reduzir a probabilidade de consequências não intencionais.” (KRUPP; HOLLIDAY, 2005, p.b2).

Também afirmam que, dados os riscos potenciais da nanotecnologia, mercado, indústria e universidades devem colaborar para determinar os testes necessários para os novos produtos da nanotecnologia. Acrescentam, ainda, que um esforço colaborativo deve ser desenvolvido para que se definam padrões provisórios para comercialização de produtos que contenham nanotecnologia, enquanto os padrões definitivos não tenham sido determinados. Propõem, também, que as empresas façam

³ Informações disponíveis no site <www2.dupont.com/Our_Company/en_US/glance/index.html>. Acesso em: 20 set. 2011.

⁴ A EDF *Environmental Defense Found* é uma organização sem fins lucrativos com base nos Estado Unidos. Foi fundada em 1967, estabelece parcerias com o setor privado dos setores de ciência, economia e jurídico para criar soluções inovadoras para os mais sérios problemas ambientais. Mais informações podem ser obtidas no sítio www.edf.org.

testes antes de colocarem produtos para comercialização. Finalmente, terminam a matéria com a seguinte afirmação:

Empresas e governo deverão ter novas abordagens para ter certeza de que os trabalhadores, consumidores, o público e o ambiente sejam adequadamente protegidos. No final, podemos resumir: podemos colher os benefícios e minimizar os riscos? Acreditamos que sim. Os principais passos são identificar e enfrentar os riscos. (KRUPP; HOLLIDAY, 2005, p.b2).

O interessante deste artigo é, em primeiro lugar, o fato de um representante da indústria química defender uma posição de cautela frente aos usos de uma nova tecnologia, alertando abertamente para a necessidade de que as indústrias façam testes preventivos. No artigo, se defende uma postura não de negar os riscos, mas de enfrentar, assumir que eles existem e procurar identificá-los. Outro ponto é a afirmação de que as inovações tecnológicas trazem em seu bojo consequências impremeditadas. E, ainda, que a indústria deve fazer testes antes que produtos sejam comercializados. Esta posição é importante, pois não é uma abordagem consensual, como apontado anteriormente (a *Bayer* trabalha com outro enfoque), e que resulta numa outra forma de lidar com os possíveis riscos dos nanotubos de carbono. Supõe-se que essa nova postura adotada recentemente por algumas indústrias, como a *DuPont*, esteja ligada à maior preocupação da aceitação do público de uma nova tecnologia e para evitar os conflitos como os relacionados aos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs). Como veremos adiante, a postura da *DuPont* é tratar os nanotubos de carbono como se fossem muito arriscados, tomando o exemplo do asbesto e propondo precauções no tratamento dos nanotubos em suas pesquisas laboratoriais.

Do artigo do *The Wall Street Journal* (WSJ) decorreu uma parceria entre a *DuPont* e o *EDF* para o desenvolvimento de um *framework* para os produtos com nanotecnologia. Iniciado em 2005 e publicado em maio de 2007, o *framework* foi desenvolvido com a colaboração de 47 pesquisadores (KRUPP; HOLLIDAY, 2005). O documento de 104 páginas é apresentado como um esforço conjunto da *DuPont* e do *EDF* para assegurar o desenvolvimento responsável de materiais em nanoescala. Logo na introdução, a seguinte frase está em destaque:

Acreditamos que a aprovação do *framework* pode promover o desenvolvimento responsável dos produtos da nanotecnologia, **facilitar a aceitação do público** e apoiar a formulação de um modelo prático para políticas governamentais razoavelmente seguras à nanotecnologia. (DUPONT; EDF, 2007, p.3, grifo nosso).

Chama a atenção, além da óbvia preocupação com a **aceitação do público**, a crença de que uma atitude mais comedida, ou **responsável**, na terminologia utilizada, **levaria à aceitação do público**. É importante destacar que o *framework*, como o documento do EPA (EPA, 2007) anteriormente analisado, mostra uma preocupação com a aceitação do público, mas os encaminhamentos para que essa aceitação seja objetivada caminha por vias diferentes. Para o EPA (EPA, 2007) o importante está no ato de informar o público, numa perspectiva *deficit model*, como apontado anteriormente. Já o *framework* relaciona a aceitação do público com o **desenvolvimento responsável dos produtos da nanotecnologia**. Ou seja, nessa perspectiva, o público não é apenas informado, mas é considerado de uma forma mais atuante em relação a suas possíveis preocupações na agenda do debate sobre os riscos da nanotecnologia.

Além disso, o *framework* ajudaria na formulação de políticas governamentais **razoavelmente seguras** para a nanotecnologia. Mas essa afirmação conduz às seguintes questões: o que se quer dizer com **razoavelmente**? O que são **seguras** e **razoavelmente seguras**? O documento será discutido e, mais adiante, retornar-se-á a essas perguntas com o intuito de discutir se o *framework* realmente ajuda a responder essas indagações.

Ao apresentar o conceito de nanotecnologia, o documento associa seus potenciais benefícios a seus possíveis riscos:

A nanotecnologia é a concepção e manipulação de materiais em escala nanométrica de tal forma que surjam propriedades novas ou melhoradas. É uma nova área de conhecimento que promete um deslumbrante leque de oportunidades em áreas tão diversas como a fabricação, energia, saúde e tratamento de resíduos. Mas, enquanto a capacidade de desenvolver nanomateriais e incorporá-los em produtos avança rapidamente, a nossa compreensão sobre o potencial dos efeitos dos nanomateriais no meio ambiente, saúde e segurança – e das maneiras mais eficazes para gerir tais efeitos – tem seguido em um ritmo muito mais lento. Devido às novas propriedades que emergem na escala nano, os nanomateriais podem exigir **mais e diferentes** estudos do que se precisou no âmbito dos sistemas de gestão de riscos tradicionais. E dado os enormes benefícios comerciais e sociais que potencialmente podem vir desta tecnologia, é provável que os nanomateriais, os produtos e outras aplicações que os contenham sejam amplamente produzidos e utilizados. Por isso, é especialmente importante compreender e minimizar os riscos potenciais. (DUPONT; EDF, 2007, p.12, grifo nosso).

A primeira frase é padrão na apresentação e caracterização da nanotecnologia; na segunda vemos que são apresentadas com entusiasmo as suas possibilidades,

ainda que de forma contida quando comparado com o *White Paper* do EPA (EPA, 2007), por exemplo. A terceira frase, por sua vez, inicia-se com uma conjunção coordenativa adversativa – ou seja, inicia como “mas”. E, seguindo um “mas”, espera-se uma mudança de enfoque, e de fato, após o “mas” se enfatiza a falta de precisão sobre os riscos da nanotecnologia. No final desse trecho, os benefícios da nanotecnologia são também colocados num espaço de potencialidades, e não de certezas. Isso, de certa forma, é surpreendente, pois outros documentos (EPA, 2007, 2008) apresentam os benefícios como dados e não como potenciais; aqui, contudo, tanto os riscos como os benefícios são colocados ainda no espaço da virtualidade, do porvir.

O *framework* é composto de seis etapas distintas e é apresentado como uma obra em aberto que deve ser usada por empresas que usam nanotecnologia: “[...] desenvolvido para ser interativo, sendo modificado quando novas informações forem disponibilizadas.” (DUPONT; EDF, 2007, p.7). Isto também é relevante porque sugere a visão de ciência implícita no documento: uma ciência que é entendida como algo que precisa ser revisado permanentemente, e que assume como princípio a precaução.

O conceito de reflexividade de Giddens (1991) – que não está relacionado com a prática científica, e, sim, com as práticas sociais, de forma mais ampla – aponta para o caráter das práticas sociais na alta modernidade: estas são constantemente examinadas e reformadas à luz de informação renovada sobre estas próprias práticas, alterando assim, constitutivamente, seu caráter. Encontram-se várias semelhanças com as sentenças citadas acima. A ideia de reflexividade está presente no *framework*, ainda que não com esse nome, e o que a proposta da *DuPont & EDF* (2007) defende é uma prática científica mais reflexiva. Tal prática não está calcada apenas no desejo de uma política científica mais democrática; como é enfatizado no artigo publicado no WSJ (KRUPP; HOLLIDAY, 2005), essa prática científica reflexiva é uma aposta para que a nanotecnologia tenha uma melhor aceitação dos consumidores e para que as empresas não percam investimentos ao lançar produtos que depois tenham que sair de fabricação.

Do ponto de vista de nossa análise, é importante destacar a atitude prudente em relação ao uso dos nanotubos de carbono pela *DuPont*. A opção foi por continuar as pesquisas com o intuito de ter mais dados antes de decidir pela produção ou não de materiais com nanotubos de carbono. A opção foi tratar os nanotubos de carbono como um material altamente perigoso, comparando-a ao asbesto, tal como demonstrado acima.

Há um caráter de provisoriedade nos resultados do *framework*. Se essa provisoriedade pode ser interpretada por setores da indústria como uma limitação, do ponto de vista sociológico pode-se analisar como um aprendizado de setores da

academia e da indústria sobre o caráter impremeditado da ciência. Como o artigo do jornal discutido anteriormente aponta, historicamente tem-se experimentos científicos e tecnológicos que foram concebidos como seguros e, depois, mostraram-se problemáticos; uma atitude prudente é uma atitude que pode levar à economia, tanto em termos ambientais, como financeiros, a gastos em indenizações, retiradas do produto e prejuízos à imagem da marca.

É retomada, agora, a discussão deixada em aberto no início do item – sobre a questão do **razoavelmente seguro** – que é colocada na introdução do *framework*. Pode-se afirmar que não há uma resposta para essa pergunta, até por que ela não permite uma única resposta, mas uma gama de possíveis respostas. E o documento dá caminhos para estas respostas, primeiro ao assumir a necessidade de revisão contínua dos processos à luz de novas informações e, dessa forma, colocar o razoavelmente seguro como constantemente negociado, por diferentes atores, ainda que esses atores tenham grau de relevância diferenciado, pois, como apontado anteriormente, a ciência é um forte nó da constituição da rede de nanotubos como uma tecnologia arriscada, e outros atores, como os trabalhadores, por exemplo, são partícipes da negociação sobre o que é ou não considerado seguro.

Além disso, se aponta para que, na falta de definições para se avaliar os riscos, se tome o pior caso razoável como parâmetro; no caso dos nanotubos de carbono o pior caso razoável é o asbesto, que mesmo sendo uma fibra natural, há indicações de que tenha o comportamento semelhante aos nanotubos de carbono. A partir desse entendimento, os nanotubos de carbono são tratados pela *DuPont* como altamente perigosos.

Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties

No Reino Unido, tem-se dado um significativo espaço de atenção à regulamentação da nanotecnologia, sobretudo a partir da repercussão do relatório da *Royal Society and Royal Academy of Engineering* (RAE), intitulado *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*, publicado no ano de 2004, que é amplamente citado e se tornou um marco na discussão sobre a necessidade de envolver o público na governança de novas tecnologias.

O relatório *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties* levanta a necessidade de se usar o termo nanotecnologia no plural, uma vez que sob o guarda-chuva nanotecnologia se encontram diferentes produtos, com características físicas, químicas e toxicológicas bastante diversas. Macnaghten (2009) explica que a publicação deste documento é um momento importante nos

debates sobre tecnologias. Uma vez que aponta que cientistas e políticas aprenderam com recentes experiências da biotecnologia e passaram a ver a importância da participação de cientistas sociais. Ainda assim, o mesmo autor aponta, em outro texto (MACNAGHTEN; KEARNES; WYNNE, 2005) que a questão do envolvimento público não está em todo o relatório e que a visão da participação pública é pouco problematizada. De fato, dos 20 cientistas que participaram da elaboração do relatório apenas dois estão mais diretamente ligados à discussão das ciências sociais, uma é filósofa e professora da universidade de Cambridge, Onora O'Neill, outro é o sociólogo Nigel Gilbert.

O relatório discute que haveria diferenças de toxicidade entre diferentes nanopartículas, bem como entre as partículas nano e as equivalentes em tamanho maior, como pode ser observado no seguinte trecho introdutório do relatório:

[...] as evidências sugerem que pelo menos algumas nanopartículas manufaturadas serão mais tóxicas por unidade de massa que aquelas com a mesma química, mas de maior dimensão. Essa toxicidade está relacionada à área de superfície das nanopartículas (que é maior com relação à sua massa que no caso das partículas maiores) e à reatividade química da superfície (que pode incrementar-se ou reduzir-se mediante o uso de uma dada película envolvente – *surface coatings*). (ROYAL SOCIETY; ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.VII).

Mas o ponto que recebeu mais atenção no relatório foi a proposta para que se estabeleça um diálogo entre público e especialistas sobre as nanotecnologias. Tal diálogo não deve ser estabelecido no final do processo, com o objetivo de informar o público, como está presente na proposta da EPA, mas no decorrer de todo o processo, com o objetivo de desenvolver o engajamento do público na discussão da nanotecnologia:

[...] há uma oportunidade para se gerar um debate construtivo e pró-ativo sobre o futuro da tecnologia de agora, antes que as posições profundamente polarizadas apareçam. Nós concordamos fortemente com o diálogo e o debate público sobre os impactos sociais e éticos das nanotecnologias, e temos, portanto, recomendado que o governo inicie o financiamento adequado para o diálogo público em torno do desenvolvimento das nanotecnologias. [...] Nossa pesquisa destaca as atitudes do público sobre questões de governança como uma área. (ROYAL SOCIETY; ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, 2004, p.XI).

Entre os cientistas que desenvolvem pesquisas sobre os riscos associados à nanotecnologia, há também discussão sobre a necessidade de que a discussão sobre os seus riscos sejam entendidos como uma questão tanto política e social, como técnica e científica.

As discussões apresentadas pelo físico da Universidade de Canterbury na Nova Zelândia, Simon Brown, no artigo chamado *New Deficit Model* publicado em 2009 na *Nature Nanotechnology*, aponta para a necessidade de uma nova abordagem mais reflexiva à ciência. Afirma que os pedidos de cientistas e agências regulamentadoras, para que pesquisas apresentem mais dados sobre os possíveis impactos dos nanomateriais no meio ambiente e na saúde, refletem uma incapacidade na aceitação do impremeditado que, de acordo com o físico, está invariavelmente associado a qualquer nova tecnologia. E defende que: “Uma governança eficaz das nanotecnologias emergentes vai exigir um reconhecimento desses fatores desconhecidos, uma regulamentação aberta e com abordagem adaptativa e coragem para tomar decisões.” (BROWN, 2009, p.610).

No texto, o autor critica o que ele designa de *new deficit model*, ou seja, se o *deficit model* aponta que há entre o público e os cientistas uma lacuna de conhecimento, que tal lacuna deve ser preenchida com mais informações científicas, e que tais informações levariam o público a aceitar as novas tecnologias. No *new deficit model*, a lacuna se encontraria entre os cientistas e deve ser preenchida com mais informações, mais dados, mais pesquisas. No lugar do *deficit model* ou do *new deficit model*, o autor propõe que se trabalhe na perspectiva de uma governança reflexiva:

[...] a governança deve ser reflexiva, no sentido de que, ao ser auto-consciente, será possível identificar falhas e adaptar-se ao abordá-los. Note que isto é muito diferente à ideia de que nós faremos extensa pesquisa antes de tentar governar – as pesquisas devem continuar em paralelo com o estabelecimento de qualquer novo regime de governança, ao longo do tempo, sempre em adaptação. (BROWN, 2009, p.611).

Nesses trechos, está presente uma proposta de ciência mais reflexiva, que assume pressupostos que estão presentes nas discussões sociais sobre o conhecimento científico; tais discussões foram transpostas das discussões entre os cientistas sociais e ganharam espaço entre cientistas da área dura.

Considerações finais

Neste artigo, discorreu-se sobre as respostas que academia, governo e iniciativa privada dão sobre o entendimento dos riscos associados à nanotecnologia. Foi visto que diferentes entidades dão respostas diferentes para enfrentar as discussões sobre nanotecnologia e riscos, e que essas respostas vão desde a negação do risco até a discussão sobre a ciência e a sociedade.

Observou-se que não há uma evolução, mas uma situação complexa se desenha. É certo que, ao elencar três possibilidades de análise dessas entidades, corre-se o risco de não deixar transparecer as relações que concomitantemente existem nas perspectivas das entidades analisadas.

Ao se seguir a constituição dos nanotubos de carbono como um material arriscado, verificou-se que tanto a perspectiva que assume que os riscos serão descobertos por mais pesquisas científicas, quanto a perspectiva que assume que os riscos da nanotecnologia são constantemente negociados por diferentes atores, estão presentes na rede que constituiu os nanotubos de carbono como um material perigoso.

Assim, acredita-se que essa receptividade vista entre os cientistas se deva também a uma receptividade de agências regulatórias em incentivar o debate em torno dos riscos da nanotecnologia.

NANOTECHNOLOGY AND RISK: DIFFERENT PERCEPTIONS ABOUT RISKS IN CARBON NANOTUBES

ABSTRACT: *This paper points out how government agencies and private sector discuss the regulation of nanotechnology, showing that different regulation proposals are related to different perceptions of risk analysis. The paper analyzes documents that discuss regulations of the carbon nanotube produced by government agencies (EPA, in the United States, Royal Society, in the United Kingdom and the Ministry of Science and Technology, in Brazil), and chemical industries DuPont and Bayer. It was pointed out that facing the challenges posed by nanotechnology, scientists, industry and politicians present very different responses to face such challenges. It was observed that these different responses occur in parallel, there is no 'development', but a complex situation is drawn. It was found that there are significant differences in how risks are perceived and faced by such agencies and industries, and that these perceptions reflect, in a broader sense, the way such entities understand science.*

KEYWORDS: *Risk. Carbon nanotubes. Sociology of science.*

Referências

AMORIM, T.-A. de. **Nanotecnologia e constituição de riscos**: uma análise dos nanotubos de carbono a partir da sociologia da ciência. 2011. 212 f. Tese (Doutorado em Sociologia Política) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2011.

_____. Nanotecnologia na imprensa: análise de conteúdo do jornal Folha de São Paulo. **Em Tese**, Belo Horizonte, v.4, n.2 (2), p.20-36, jan.-jul. 2008.

BAYER. **Research**, n.21. Disponível em: <www.baytubes.com/downloads/cnt3622.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Ciência, tecnologia e inovação**: desafio para a sociedade brasileira: livro verde. Coordenado por Cylon Gonçalves da Silva e Lúcia Carvalho Pinto de Melo. Brasília: Academia Brasileira de Ciências, 2001.

BROWN, S. The new deficit model. **Nature Nanotechnology**, London, v.4, p.609-11, 2009.

DUPONT; ENVIRONMENTAL DEFENSE FOUND [EDF]. Nano Partnership. **Nano Risk Framework**, 2007. Disponível em: <<http://www.nanoriskframework.com>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

ETC GROUP. **Nanotech product recall underscores need for nanotech moratorium**: news release, 7 April. Ottawa: Canada, 2006.

_____. **Nanotech**: unpredictable and un-regulated new report from the ETC Group: news release. Ottawa: Canada, 2004.

_____. **No small matter II**: the case for a global moratorium. Ottawa: Canada, 2003.

ESTADOS UNIDOS. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA]. Nanotechnology for site remediation fact sheet. **NSCEP**, Washington, Oct. 2008.

_____. Nanotechnology white paper. **NSCEP**, Washington, Febr. 2007.

_____. Air quality: criteria for particulate matter. **Environmental Protection Agency**, Washington, Oct. 2004.

FRIENDS OF THE EARTH AUSTRALIA. **Submission from friends of the earth Australia – to the senate community A! airs committee inquiry into workplace exposure to toxic dust**. Sidnei, 2005.

GIDDENS, A. **As consequências da modernidade**. São Paulo: Ed. da UNESP, 1991.

GUIVANT, J. A teoria da sociedade de risco de Ulrich Beck: entre o diagnóstico e a profecia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, n.16, p.95-112, abr. 2001.

KRUPP, F.; HOLLIDAY, C. Let's get nanotech right. **Wall Street Journal**, Jun. 14, Management Supplement, 2005.

LATOURET, B. **Reensamblar lo social**: una introducción a la teoría del actor-red. Buenos Aires: Editorial Manantial, 2008.

MACNAGHTEN, P.; GUIVANT, J.S. Converging citizens? nanotechnology and the political imaginary of public engagement in Brazil and the United Kingdom. **Public Understanding of Science**, Bristol, v.20, n.2, p.207-220, 2011.

MACNAGHTEN, P. Engaging nanotechnologies: a case study of 'upstream' public engagement. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v.12, n.1 p.1-18 jan.-jun. 2009.

MACNAGHTEN, P.; KEARNES, M.; WYNNE, B. Nanotechnology, governance and public deliberation: what role for the social sciences? **Science Communication**, Thousand Oaks, v.27, n.2, p.268-287, 2005.

ROYAL SOCIETY; ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Novel material in the environment**: the case of nanotechnology. London, 2008.

_____. **Nanoscience and nanotechnologies**: opportunities and uncertainties. London, 2004.

Recebido em 15/04/2013.

Aprovado em 09/11/2014.

