O desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia determina, na sociedade contemporânea, nos níveis políticos, sociais e econômicos, transformações que representam a evolução do saber humano. No entanto, sabemos, também, que diante de inúmeros problemas – tais como a produção e o tratamento do lixo, a poluição, a devastação – as questões dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) requerem responsabilidade social e ambiental.

Frente ao acelerado crescimento da área no Brasil e América Latina, percebe-se a necessidade de se articular melhor os pesquisadores que nela trabalham. Os textos que compõem este livro trazem contribuições teóricas e empíricas do I Seminário Brasileiro de Ciência, ▶

Ciência, Tecnologia e Sociedade no Brasil

Maria Teresa Miceli Kerbauy
Thales Haddad Novaes de Andrade
Carlos Roberto Massao Hayashi
(orgs.)

Alínea
EDITORA

Alínea
EDITORA

DIRETOR GERAL
Wilon Mazalla Jr.

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Willian F. Mighton

COORDENAÇÃO DE REVISÃO E COPYDESK
Alice A. Gomes

REVISÃO DE TEXTOS
Helena Moysés

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA
Fabio Diego da Silva
Tatiane de Lima

CAPA
Paloma Leslie

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ciência, tecnologia e sociedade no Brasil / Maria Teresa Miceli Kerbauy, Thales Haddad Novaes de Andrade, Carlos Roberto Massao Hayashi (orgs.). -- Campinas, SP : Editora Alínea, 2012.

Vários autores.
Bibliografia

1. Ciência - Aspectos sociais - Brasil 2. Ciência - Brasil 3. Tecnologia - Aspectos sociais - Brasil 4. Tecnologia - Brasil I. Kerbauy, Maria Teresa Miceli. II. Andrade, Thales Haddad Novaes de. III. Hayashi, Carlos Roberto Massao.

12-06011 CDD-303.4830981

Índices para Catálogo Sistemático

1. Brasil : Ciência e tecnologia : Mudanças sociais : Sociologia 303.4830981

ISBN 978-85-7516-569-0

Todos os direitos reservados à

Editora Alínea

Rua Tiradentes, 1053 - Guanabara - Campinas-SP
CEP 13023-191 - PABX: (19) 3232.9340 e 3232.0047

www.atomoealinea.com.br

Impresso no Brasil

Apoio Cultural

CNPq
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Sumário

Apresentação 7

Capítulo 1

A Contribuição da Teoria Sociológica para o Desenvolvimento dos Estudos em Ciência, Tecnologia e Sociedade ... 13

Tamara Benakouche

Capítulo 2

Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Nacional no Pensamento de Álvaro Vieira Pinto e Alberto Guerreiro Ramos (1956-1964) 27

Gilson Leandro Queluz e Luiz Ernesto Merkle

Capítulo 3

Para uma Nova Política de Ciência e Tecnologia na América Latina: contribuições a partir da experiência brasileira 51

Renato Dagnino

Capítulo 4

Possibilidades de Práticas Ontológicas Situadas 67

Ivan da Costa Marques

Capítulo 5

O Debate Público de Ciência e Tecnologia:
divulgação, difusão e popularização 87
Maíra Baumgarten

Capítulo 6

O Acesso Aberto à Literatura Científica e às
Necessidades e Usos Informacionais do Público Leigo 99
Ariadne Chloe Mary Furnival

Capítulo 7

As Controvérsias sobre os
Riscos do Nanotubo de Carbono..... 127
Tade-Ane de Amorim e Julia Silvia Guivant

Capítulo 8

A Regulação na Atividade Bioprospectiva:
considerações sobre a realidade brasileira 161
Michelangelo Giotto Santoro Trigueiro

Capítulo 9

Registro de Ensaios Clínicos:
novo modelo de regulação e comunicação 185
Maria Conceição da Costa, Alessandro Luís Piolli e Josué Laguardia

Capítulo 10

Contribuições de um Cientista Social
para Aproximar a Virologia Ambiental
das Políticas Públicas no Brasil 221
Carlos José Saldanha Machado

Capítulo 11

Imagens de Satélite como Sítio Etnográfico?
Interpretando práticas de sensoriamento remoto no Brasil..... 251
Marko Synesio Monteiro

Sobre os Autores 279

CAPÍTULO 7

As Controvérsias sobre os Riscos do Nanotubo de Carbono

Tade-Ane de Amorim e Julia Silvia Guivant

7.1 Introdução

Neste capítulo, discutiremos os caminhos trilhados por uma nova tecnologia que passa de segura a insegura, ou como uma tecnologia passa a ser percebida como portadora de riscos. Analisaremos como um mesmo elemento pode ser detentor de diferentes ontologias e como tais ontologias são cenarizadas na arena científica. Usando o caso de um produto nanotecnológico, o nanotubo de carbono, será discutido de que maneira os cientistas elaboram suas percepções sobre os possíveis riscos de uma nova tecnologia.

Nanotecnologia pode ser entendida como uma tecnologia que possibilita desenvolver artefatos muito pequenos, manipular a matéria no nível molecular ou atômico. Nano é o prefixo utilizado para designar uma parte de um bilhão; assim, um nanômetro (1nm) corresponde a um bilionésimo de um metro (1×10^{-9} m). Para se ter uma noção aproximada do tamanho de 1 nanômetro, pode-se pensar na dimensão do fio de cabelo humano, que é de 50 mil nm; de um vírus,

que tem tamanho variável entre 10 a 100 nanômetros; ou de um átomo, com 0,2 nm. A nanotecnologia vem despertando discussões, tanto por suas potencialidades de uso, como por possíveis riscos desconhecidos relacionados a sua produção e consumo.

Os nanotubos de carbono são estruturas cilíndricas do diâmetro de alguns nanômetros e dimensão de tamanho variado, indo de poucos nanômetros até alguns mícrons, o que significa que eles podem ter centenas ou até milhares de vezes o seu comprimento em relação ao seu diâmetro. Os nanotubos de carbono podem ter diferentes formas, diferentes arranjos atômicos e quantidades diferentes de produtos químicos adicionados a eles; todas essas variações afetam suas propriedades e podem influenciar em sua maior ou menor toxicidade. Este material é indicado para várias finalidades, desde encapsulamento de remédios, até ligas para raquete de tênis, passando pela indústria da construção civil, implantes ortopédicos e odontológicos, sensores e componentes eletrônicos, aviões e indústria espacial, sistemas de purificação de água, tintas, vidros, dentre outros.

Além de ser um material com alta relevância para a indústria e a pesquisa, o nanotubo de carbono se tornou um objeto de estudo interessante do ponto de vista sociológico, pois é possível acompanhar o início das discussões sobre as possibilidades de ser ou não, um material com alto grau de toxicidade, o que o configuraria como um material que oferece grandes riscos ao meio ambiente e à população no geral.

Para acessar a discussão sobre a constituição dos nanotubos de carbono como uma tecnologia que pode envolver potenciais riscos, pesquisou-se artigos publicados nas principais revistas científicas internacionais relacionados a nanotubo de carbono e riscos. O artigo científico foi compreendido como uma inscrição literária, no sentido usado por Latour (2001):

> Inscrição [é um] termo geral referente a todos os tipos de transformação que materializam uma entidade num signo, num arquivo, num documento, num pedaço de papel, num traço. [...] São sempre móveis, isto é, permitem novas translações e articulações ao mesmo tempo que mantêm intactas algumas formas de relação (p. 350).

A inscrição literária é o processo de materialização dos objetos presentes nos laboratórios, como traços, pontos, gráficos, que se configurarão como 'dados' somente a partir da inscrição literária: o laboratório é um sistema de inscrição literária (Latour, 1997, p. 46).

O artigo científico é um ator não humano que exerce importância central na constituição do nanotubo de carbono como um risco. Os artigos, longe de serem os relatórios do que foi produzido na fábrica, são considerados, pelos membros da equipe, como os produtos de sua usina singular (Latour, 1997, p. 39). O interessante em seguir a produção do conhecimento científico é que ela é facilmente rastreável e, por onde passa, deixa marcas. E tais marcas – os artigos científicos – são encontradas nas revistas acadêmicas e em outros artigos sob a forma de citações e referências. Além disso, seguir os artigos científicos torna possível seguir a constituição de uma sentença como verdadeira, como um fato.

A sentença será mais verdadeira quanto mais citações posteriores receber, mas não qualquer tipo de citação, especialmente as citações que retomam a citação anterior como verdadeira. E, como será discutido adiante, acrescentam uma generalização a mais na sentença anterior.

7.2 A constituição dos riscos nas revistas científicas

A trajetória do nanotubos de carbono nas principais publicações científicas internacionais foi percorrida como forma de discutir a constituição desses objetos como uma tecnologia dotada de riscos potenciais. Para a seleção de artigos, foi utilizada a Plataforma CAPES, no período entre 2004 a 2010.

Foram utilizadas duas expressões chaves para a busca dos artigos: '*carbon nanotubes*' e '*risk*', utilizando-se o mecanismo de metabusca e excluindo da busca apenas os bancos de dados de patentes, tendo sido incluídos e analisados todos os demais resultados. Tal busca resultou em uma amostra inicial, composta por artigos os quais se mostram distribuídos, anualmente, da maneira expressa pela Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição dos artigos encontrados utilizando-se as palavras-chave 'carbono nanotubes' e 'risk' na Plataforma CAPES, por ano de publicação.

Ano de publicação	Número de artigos encontrados
1996	2
1997	-
1998	3
1999	2
2000	-
2001	-
2002	-
2003	3
2004	13
2005	7
2006	17
2007	11
2008	34
2009	21
2010	46
Outro	9
Total	168

A amostra final foi obtida por meio de uma seleção realizada entre todos os textos encontrados utilizando-se os dois termos indicados anteriormente, 'carbon nanotubes' e 'risk'. Foi realizada a leitura dos resumos dos 168 artigos encontrados, tendo sido selecionados apenas os que se mostravam relacionados ao tema, uma vez que diversos artigos encontrados não diziam respeito à temática de interesse, como o caso de um artigo que discutia os riscos de infarto do miocárdio e as possibilidades de melhorias em exames com o uso de nanotubos de carbono. Após essa pré-triagem, todos os artigos selecionados passaram a ser analisados de maneira mais criteriosa. Numa primeira etapa, realizou-se uma leitura flutuante de todos os artigos selecionados, embora ainda sem análises, apenas para familiarização com a discussão dos mesmos e para, mais uma vez, separar possíveis textos que não se relacionavam com a temática de interesse e que haviam passado pela primeira pré-triagem. Após essa leitura, a amostra tomou a forma apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Distribuição dos artigos após a pré-triagem e a leitura flutuante dos selecionados, por ano de publicação.

Ano de publicação	Número de artigos selecionados
2003	2
2004	7
2005	4
2006	6
2007	6
2008	22
2009	28
2010	27
Total	102

Ao observar a Tabela 2 verifica-se que, a partir do ano de 2008, o número de artigos aumentou significativamente. O ano de 2008 também é marcado pelo início da publicação de uma nova e importante revista dedicada exclusivamente à nanotecnologia, a *Nature Nanothecnology*. Com publicações mensais, a revista se firmou rapidamente como uma das mais importantes da área, alcançando, já em 2009, fator de impacto da ordem de 26.309, o que confere à revista a maior média de citações por artigos dentre todas as revistas de nanotecnologia e nanociência.

7.3 Nanotubos de carbono e riscos

A primeira vez que a palavra 'risco' foi encontrada em um texto publicado em revistas científicas renomadas, no contexto dos nanotubos de carbono, foi em 2003, na seção *New Focus* da revista *Science*. O autor do texto, Robert Service, afirma que dois grupos de pesquisas – um liderado por Warheit e o outro liderado por Lam – reuniram-se para discutir suas recentes pesquisas, realizadas paralelamente, sobre a toxicidade do nanotubo de carbono. Os trabalhos desses dois grupos foram publicados nos anos seguintes e tiveram grande importância na visão de que o nanotubo de carbono representaria uma ameaça à saúde e ao meio ambiente. O próximo artigo associando a nanotecnologia à possibilidade de riscos foi publicado na revista *Nature*, de autoria de

Vicki Colvin, renomada toxicologista, professora da Universidade de Rice e coordenadora do centro de pesquisa em Nanotecnologia Biológica e Ambiental, entidade ligada à Universidade de Rice e financiada pela *National Science Foundation* (NSF). No artigo, Colvin (2003) cita diversas pesquisas que associam possíveis riscos à nanotecnologia e, assim como no artigo anterior, aponta para as pesquisas de Warheit e Lam, que serão publicadas no ano seguinte mas que já encontravam-se no prelo. É interessante ressaltar que tal artigo, intitulado *The potential environmental impact of engineered nanomaterials* afirma, logo em seu início, que, com a ampliação da comercialização dos nanomateriais, houve uma ampliação no debate público sobre se os benefícios da nanotecnologia superarão os seus possíveis riscos. A autora afirma que é necessário investigar os riscos da nanotecnologia para evitar uma moratória às pesquisas na área e, também, para que não se repitam os erros da biotecnologia, quando pouca atenção foi dada aos possíveis efeitos negativos, contribuindo para a geração de forte rejeição pública a algumas de suas áreas, como é o caso, por exemplo, dos alimentos geneticamente modificados. É interessante destacar que Colvin situa o debate sobre nanotecnologia e riscos num panorama mais amplo nos debates acadêmicos, trazendo para um artigo na *Nature*, a citação de um artigo da organização não governamental canadense *Action Group on Erosion, Technology and Concentration,* ou ETC. A ETC teve grande importância na divulgação dos possíveis riscos atribuídos à nanotecnologia e se firmou como um 'propagador que estabelece a relação entre ciência e ambientalismo', denominação apresentada por Hannigan (1995).

O primeiro relatório da ETC sobre nanotecnologia foi produzido em 2002, apontando para a necessidade de implantação imediata de moratória às pesquisas e produtos nanotecnológicos. Embora o tom alarmista e, de certa forma, de um ativismo ingênuo do ETC possa ser questionado, é importante considerar que a instituição conseguiu se posicionar como um ator importante, levantou o debate sobre os riscos

dessa nova tecnologia, ajudou a problematizar a questão e, com isso, levou mais cientistas a desenvolverem pesquisas na área.

O segundo relatório do ETC, produzido em 2003, continua apontando os possíveis problemas da nova tecnologia e marca a necessidade do pedido imediato da moratória global para a nanotecnologia.

Nesse relatório, há um item específico sobre os riscos do nanotubo de carbono que tem como título *Presunção de Inocência: o caso do nanotubo de carbono*. O relatório se inicia explicando que o nanotubo de carbono é um material 100 vezes mais forte que o aço e 6 vezes mais leve. O relatório descreve, ainda, outras características dos nanotubos, mostra dados sobre a produção do material e aponta para o fato de que, até aquele momento, apenas três publicações sobre seus riscos encontravam-se disponíveis na literatura. Em uma dessas publicações, o autor afirma que não há indício algum de que causem problemas pulmonares (Huczo, 2001); em outra, o autor afirma haver riscos associados à inalação dos nanotubos (Lam, 2004); a terceira publicação afirma serem os riscos menores que os das partículas de quartzo, tendendo a diminuir após duas semanas (Warheit, 2004). Frente a esses diferentes resultados, o ETC concluiu haver inconsistências nos experimentos realizados pelos autores das pesquisas, uma vez que todos foram feitos apenas utilizando roedores e tendo somente o pulmão como alvo para detecção de problemas, sendo que nenhum dos estudos estendeu a discussão aos riscos de médio e longo prazo, uma vez que o tempo máximo de observação foi de apenas três meses.

Para o objetivo deste trabalho, é importante ressaltar que mesmo as discussões realizadas fora do âmbito da academia, como a que acabamos de relatar – realizada por uma instituição internacional não acadêmica –, são pautadas e buscam ser validadas a partir das discussões que são feitas na academia. Assim, é possível afirmar que essa ONG colabora para a constituição do problema, ou seja, ajuda a constituir o nanotubo de carbono como um material perigoso, uma vez que, ao divulgar os resultados de diferentes pesquisas e apontar para a necessidade de mais pesquisas na área, promove um ambiente que valida a busca por mais

financiamentos públicos para pesquisas e incentiva, assim, a realização de novas investigações.

Hannigan (1995) afirma que, para que um problema ambiental tenha êxito, isto é, seja reconhecido como um problema ambiental, seis fatores precisam estar presentes:

a) Autoridade científica para a validação das exigências;
b) Existência de propagadores que possam estabelecer a ligação entre o ambientalismo e a ciência;
c) Atenção dos meios de comunicação social onde o problema é "estruturado" como sendo importante e novidade;
d) Dramatização do problema em termos simbólicos e visuais;
e) Incentivos econômicos para tomar uma ação positiva;
f) Emergência de um patrocinador institucional que possa assegurar legitimidade e continuidade.

Empregando a mesma linha de raciocínio proposta por Hannigan e a considerando válida para os objetivos e propósitos do presente trabalho, é válido afirmar que, para que uma tecnologia – como o caso do nanotubo de carbono – receba o status de arriscada ou perigosa e seja tratada como um problema, é necessário que tais fatores também estejam presentes. Mas, diferentemente do proposto pelo referido autor, o presente trabalho investiga de que maneira tais fatores estão presentes dentro da própria comunidade científica. Assim, afirma-se que a autoridade científica que valida o problema não é um fato 'de saída', mas um fato que é constituído também a partir das mesmas exigências. Ou seja, os critérios de validação científica para a constituição do nanotubo de carbono, também necessitou de propagadores, de dramatização, de investidores, etc. Além disso, é importante considerar que os seis fatores mencionados por Hannigan desconsideram como a validação de algo como sendo um problema ambiental ocorre no meio científico.

Aqui, apresentamos como a validação científica de um problema se processa, ou como um risco tecnológico passa a ser percebido e constituído como risco legítimo entre os cientistas. Esta proposta está ligada

a uma tradição dos estudos sociais da ciência na qual se compreende que o mundo da ciência e o da não ciência não têm 'muros tão altos'; a separação ente ciência e não ciência é uma arbitrariedade, não um dado em si. Assim, entende-se que, para que um fato científico seja compreendido como tal, ele precisa ser validado como um fato, como uma verdade científica. Neste sentido, Latour (2001) afirma que a ciência é também um exercício de convencimento, sendo a retórica um forte aliado dos cientistas na busca por argumentos reconhecidos como válidos entre a comunidade científica.

Da mesma forma, para que uma controvérsia científica seja instaurada, para que um problema ou uma teoria passem a ser questionados, discutidos, problematizados, deve haver um processo de constituição desse problema (Guivant; Macnaghten, 2011; Macnagthen; Guivant, 2010).

Seguindo os pressupostos da teoria ator rede, entende-se que conhecimento se constitui como um vetor retroalimentado, sendo modificado por sua própria produção e cuja modificação retroalimentada ocorre não somente no presente, mas também no passado, de maneira retrospectiva. Assim, apresenta-se a constituição de riscos, também um vetor retroalimentado por novos conhecimentos, sendo essa retroalimentação realizada por cientistas e não cientistas, como, por exemplo, a ONG ETC, anteriormente citada. Na medida em que novos conhecimentos sobre os riscos vão sendo disponibilizados, a *performance* desse risco vai sendo modificada, tanto no presente quanto retrospectivamente e, com isso, o passado vai sendo performado também de forma diferente. Nessa *performance* do risco, cientistas são os atores centrais e, no entanto, e de maneira curiosa, são pouco ou praticamente nada considerados nos estudos sobre análise de risco entre os cientistas sociais. A maior parte dos trabalhos sobre produção social dos riscos, desconsidera a constituição dos mesmos pelos cientistas, tomando-se, geralmente, o entendimento 'pronto' do risco, sendo pouco discutida a forma como algo passa a ser efetivamente considerado seguro ou inseguro pela comunidade científica, ou quando isso acontece. Poucos são os trabalhos que 'retrocedem' nas

pesquisas para entender como os próprios cientistas negociam e chegam a consensos sobre se algo é ou não arriscado. Neste sentido, acredita-se que seguir os atores, ou o espaço de materialidade das discussões científicas – os artigos científicos –, desde a primeira publicação sobre risco dos nanotubo de carbono, é essencial para entendermos como esse processo foi constituído.

Neste início de discussão sobre os nanotubos de carbono e seus riscos, há uma indefinição sobre como esse material seria constituído. No entanto, ao olharmos para trás, com as informações disponíveis atualmente, é possível concluir que já havia sinais claros, ou evidências claras, de que a dimensão de sua insegurança seria revelada rapidamente. Mas, ao fixar a discussão no momento em que ela estava acontecendo, seguindo a metodologia do ator rede, tal como desenvolvido por Latour (2001, 2005) e indo ao ponto de início das controvérsias, verifica-se que ainda não havia a definição do que seria revelado sobre o nanotubo de carbono, nem sobre quais dimensões ontológicas do mesmo seriam reveladas e estabelecidas como predominantes nos debates científicos que se seguiriam. Na verdade, nesse princípio não havia sequer um 'controvérsia', apenas trabalhos esparsos com resultados diferentes.

No ano de 2003, foram identificadas algumas dúvidas sobre segurança dos nanomateriais de maneira geral, e publicados dois artigos (Colvin, 2003; Service, 2003) os quais citam duas pesquisas que se propõem a discutir a toxicidade dos nanotubos de carbono. Ambas as publicações receberam citações antes mesmo de estarem acessíveis à comunidade científica. Essa indefinição no início da discussão sobre os riscos do nanotubo de carbono torna possível afirmar que não há uma 'controvérsia científica' dada *a priori*, mas uma indefinição, incerteza ou, ainda, 'nebulosa', empregando a expressão utilizada por Thomas Khun.

No ano seguinte, em 2004, o número de artigos foi bem maior quando comparado aos dois publicados no ano anterior, ainda que seja relativamente baixo (7 artigos), como pode ser observado na Tabela 1. Além dos artigos de Lam et al. e Warheit et al., pioneiros na apresentação

de pesquisas *in vitro* e que passaram a ser amplamente citados[1], outros dois artigos são de pesquisas laboratoriais. Mas o que chama a atenção é que, mesmo com um número ainda incipiente de artigos publicados, um dos artigos encontrados[4] apresenta revisões das duas pesquisas mencionadas. E é ainda mais relevante mencionar que tal artigo foi publicado na revista *Toxicological Science*, a mesma que havia publicado, no mesmo ano, os dois artigos. Isso dá a dimensão da repercussão imediata dos artigos de Lam e colaboradores (2004) e Warheit e colaboradores (2004).

Em 2005, um artigo de autoria de Shvedova[2] e colaboradores, também apresentando resultados de pesquisa, foi publicado e amplamente citado. Esses três artigos são, na maior parte das vezes, citados em conjunto e são pioneiros nas pesquisas que discutem os riscos dos nanotubos de carbono. Por esse motivo, designa-se como "núcleo denso" das primeiras pesquisas sobre risco e nanotubo de carbono e, em comum, são ambas pesquisas *in vivo* e realizadas em roedores, sendo artigos com alto número de citações.

Como afirmado anteriormente, após a seleção dos artigos que fariam parte deste estudo, foi realizada a leitura flutuante dos mesmos. Nessa leitura, chamou bastante atenção o fato de haver diferenças marcantes entre as interpretações do artigo de Warheit e colaboradores (2004). Notou-se, também, a ampliação do número de artigos que citavam esse grupo de autores e afirmavam que sua pesquisa indicava toxicidade do nanotubo de carbono, fazendo com que essa interpretação se tornasse predominante e utilizasse o trabalho de Warheit e colaboradores como respaldo. Assim, considera-se que uma primeira separação, ou primeira categorização, dos artigos foi realizada pelas próprias publicações, uma vez que os próprios artigos continham uma divisão; à pesquisa realizada bastava apenas seguir e aceitar tal divisão que estava estabelecida.

---

1. Até o dia 28 de julho de 2011, o artigo de Lam et al. foi citado 451 vezes e o artigo de Warheit et al., 526 vezes.
2. Anna Shvedova é uma importante toxicologista, que trabalha na Universidade West Virginia.

Seguindo os preceitos teóricos da teoria ator rede, foi dada voz aos atores, deixando que eles se apresentassem como são, deixando a rede 'falar', seguindo as relações estabelecidas entre os próprios artigos. Optou-se por rastrear as relações entre as controvérsas, ao invés de utilizar categorias previamente definidas para categorizar a rede. Pois, como afirma Latour (2008):

> A tarefa de definir e ordenar o social deve ser deixada aos próprios atores, e não ao analista. É por isso que,para recuperar algum sentido da ordem, a melhor solução é rastrear as reações **entre** as controvérsias em vez de decidir como resolver qualquer controvérsia presente (p. 42).

Neste sentido, o que importa não é fazer categorizações prévias, mas estar atento para 'ver' as conexões que são estabelecidas pelos próprios atores, as ligações que se estabelecem entre os artigos estudados, no caso deste estudo.

E, assim, separaram-se, 1) os artigos que tomavam o artigo de Warheit e colaboradores como indício de que o nanotubo de carbono é tóxico e, portanto, perigoso ou arriscado; 2) os que tomavam o texto como uma prova de que o nanotubo de carbono é pouco tóxico e, consequentemente, apresentava poucos riscos, e 3) os que usavam o texto somente para mostrar que há pesquisas sobre a toxicidade do nanotubo, mas sem explicitar os resultados de tais pesquisas.

7.4 Um artigo, muitas interpretações

Como mostrado, no ano de 2003 foram anunciadas duas pesquisas sobre a toxicidade do nanotubo de carbono. Tais pesquisas foram publicadas em 2004 e, em uma delas (Lam et al., 2004), o pesquisador aponta para a possibilidade de o nanotuno de carbono apresentar toxocidade alta que representaria risco à saúde. Mas a outra pesquisa (Warheit et al., 2004) apresentou um resultado diferente. O autor afirma que há toxicidade evidenciada, mas que esta diminui com o tempo.

De acordo com o autor, o objetivo do estudo foi avaliar a toxicidade pulmonar aguda de nanotubos de carbono de parede simples instalado intratraquealmente em ratos. Esse trabalho foi amplamente citado em outros artigos e de maneira bem diversa, tanto que, à primeira impressão, pode-se não compreender as discussões que se seguiam, uma vez que parecia haver muita contradição no emprego desse artigo. Por vezes, ele é citado como "apresentando riscos do nanotubo de carbono à saúde"; em outras, é apresentado como "tendo comprovado não haver riscos à saúde"; e, ainda, é apresentado em conjunto com outros artigos para mostrar de que maneira o nanotubo de carbono vem sendo amplamente estudado em relação aos seus possíveis riscos, mas sem apontar se a pesquisa os comprovou ou não.

Há a possibilidade, mais rápida e simples, de afirmar que se trata apenas de interpretações diversas e que, não haveria o que ser problematizado. Uma vez que todos os textos comportam diferentes interpretações, mas seguir as controvérsias científicas em suas constituições é ir mais fundo do que seguir interpretações de textos: é tentar compreeender, também, as razões/motivações que levam a interpretar textos de modos tão diversos. E nessa diversidade de possíveis interpretações, o próprio artigo de Warheit e colaboradores vai sendo modificado. Pois, como afirma Latour (2000):

> Uma sentença pode ser tornada mais fato ou mais ficção, dependendo da maneira como está inserida em outras. Por si mesma, uma sentença não é nem fato nem ficção; torna-se um ou outra mais tarde graças a outras sentenças (p. 45).

E seguindo o referencial adotado por esta pesquisa, é necessário compreender essas modificações tanto a partir do objeto em si – aqui, o artigo do Warheit e colaboradores –, com suas multiplicidades ontológicas, quanto também as diferentes interpretações suscitadas por esse artigo. Com isso, o pressuposto teórico e metodológico de que o risco do nanotubo de carbono é, ao mesmo tempo, real e construído, é reafirmado.

O artigo segue uma estrutura padrão, com introdução, materiais e métodos, resultados e discussão. Logo no início, enfatiza a importância do objeto de estudo: Os nanotubos de carbono são conhecidos por terem propriedades mecânicas, elétricas e magnéticas *superiores* (p. 117, grifo nosso). E se justifica com a seguinte afirmação: Os potenciais perigos relacionados à inalação dos nanotubos de carbono são desconhecidos (p. 117).

Nessa pequena sentença, o autor aponta duas fontes de incertezas:

a) **potenciais perigos** – não se sabe se os nanotubos de carbono são ou não perigosos; há uma incerteza, inclusive, sobre seus riscos incertos;

b) **potenciais perigos desconhecidos** – além de não se saber se são ou não perigosos, supondo que o sejam, não se sabe o quanto o são, pois esse seria um perigo novo e, portanto, desconhecido.

E o autor segue apontando mais fontes de incertezas:

> *Além disso*, o banco de dados toxicológicos para a maioria das emissões de carbono contendo partículas é bastante esparsa. Estudos experimentais recentes em roedores indicam que as partículas de carbono preto, quando inaladas, podem produzir toxicidade pulmonar significativa. E a toxicidade *aumenta com a diminuição do tamanho das partículas* e quanto maior for a área de superfície maior. Assim, as partículas de carbono ultrafino preto são conhecidas por produzirem maior toxicidade pulmonar em ratos, quando comparado, com as partículas de carbono preto de tamanho maior (Warheit, 2004, p. 117, grifos nosso).

Neste breve trecho, os autores elencam vários argumentos sobre a importância de sua pesquisa atual e a necessidade de continuidade para que seja realmente desenvolvida e concluída:

a) não se sabe se o nanotubo de carbono é potencialmente tóxico ou não;

b) não há pesquisas na área;

c) e, ainda, as pesquisas de área próxima[3] indicam que, quanto menor a partícula de carbono preto, mais tóxica ela fica.

O último argumento é bastante significativo; mesmo não se conhecendo nada sobre a toxicidade do nanotubo de carbono, o autor o aproxima a outro material, pequeno e sabidamente tóxico: as partículas de carbono preto. E vai além: afirma que, quanto menor o tamanho de tais partículas, maior será a sua toxicidade. Desta forma, o autor leva os leitores a concluir, dedutivamente, que:

> Se menor tamanho de partícula de carbono preto leva à maior toxicidade;
> Sendo o nanotubo de carbono ainda menor,
> LOGO
> Nanotubo de carbono possui maior toxicidade.

Com esses argumentos, o autor valida sua busca em determinar a toxicidade das partículas de nanotubo de carbono de parede simples (SWCNT) em pulmões de ratos, e mais importante, comparar a atividade do SWCNT com outros materiais de referência.

No decorrer do estudo, o autor afirma que não foi evidenciada toxicidade pulmonar nos roedores, mas foi encontrada uma inflamação 'não usual'. Com essas duas 'evidências' o autor chega à seguinte conclusão:

> Como consequência, a toxicidade pulmonar observada como granulomas multifocais que temos aqui relatado pode não ter relevância fisiológica, e pode estar relacionada com a instilação de um bolo de nanotubos aglomerados, ou seja, nanoporos. Assim, para relacionar o efeito não usual adverso encontrado nesse estudo aos potenciais riscos associados à inalação de nanotubo de carbono, parece claro que os efeitos pulmonares precisam

3. É interessante destacarmos que ora os autores querem enfatizar as proximidades para validar suas ideias, e aproximar de áreas de conhecimento já validadas, ora precisam se distanciar para reforçar que o campo em que trabalham é novo e precisa de financiamentos específicos.

> ser avaliados por meio de aerosois de SWCNT e, assim, realizar um estudo de toxicidade da inalação de nanotubos de carbono em ratos (Warheit et al., 2004, p. 140).

Com essa conclusão, que parece ter sido feita na medida certa para os que querem reforçar a tese da toxicidade e refutar a da não toxicidade, as possibilidades de diferentes interpretações se ampliam. De fato, ela permite seu uso diferenciado e os autores a mobilizam de diferentes formas. Além disso, essa 'conclusão inconclusiva' sugere a necessidade de mais estudos, o que também se mostra ideal para os pesquisadores que buscam validação para a necessidade de mais investimentos na área de avaliação de riscos dos nanotubos de carbono.

O artigo de Warheit et al. (2004) recebeu muitas citações, como indica a Tabela 3.

Tabela 3. Número de artigos que citam o trabalho de Warheit et al. (2004) dentre o total de artigos analisados.

Ano	Artigos que citam Warheit et al. (2004)	Total de artigos analisados
2003	2	2
2004	1	7
2005	4	4
2006	5	6
2007	4	6
2008	9	22
2009	21	28
2010	9	27
Total	55	102

Como mencionado anteriormente, tais citações permitem bastante divergência em suas interpretações. A Tabela 4 apresenta a quantidade de artigos por ano que citam o artigo de Warheid e colaboradores e indicam a forma como essas citações são inseridas nos artigos.

Tabela 4. Número de artigos que citam o trabalho de Warheit et al. (2004) e de que maneira essas citações se inserem nos artigos.

Ano	Citações do artigo de Warheit et al. na amostra pesquisada	Interpretaram sugerindo haver riscos	Interpretaram sugerindo não haver riscos	Citaram o artigo, sem especificar se o autor apontava riscos ou não
2003	2*	2	-	-
2004	2	2	-	-
2005	4	1	-	3
2006	5	1	-	4
2007	4	4	-	-
2008	9	3	3	3
2009	21	11	3	7
2010	9	5	1	3
Total	55	29	6	20

* Como afirmado anteriormente, o artigo de Warheit et al. foi publicado em 2004, mas em 2003 os dois artigos analisados o citavam, pois os autores tiverem contato com os resultados das pesquisas em uma reunião da associação americana de química.

Nesses dados, o que mais chama atenção é o fato de que a maior parte das citações do artigo de Warheit e colaboradores é feita para sugerir que o nanotubo de carbono apresenta riscos.

Na análise qualitativa, não separamos os textos que citaram o artigo de Warheit e colaboradores por ano, mas pela forma como o artigo foi usado. Desenvolver a análise dos artigos publicados pela maneira como foram citados em outros artigos – sugerindo toxicidade ou não toxicidade de um componente – não é algo usual dentro da Sociologia, mas é algo possível de ser feito seguindo a metodologia teoria ator rede, uma vez que essa relação foi evidenciada pelos próprios atores – entendendo-se atores como os artigos e não como os profissionais que os produziram – e considerando que os artigos são atores não humanos.

Aqui, são apresentadas duas sentenças que ilustram os artigos que citam Warheit et al. (2004) e não deixam explícito se entendem o texto do autor como apresentando, ou não, riscos.

> Os estudos de toxicidade em nanomateriais, tais como fulerenos, nanotubos de carbono de parede simples, nanotubos de carbono de paredes múltiplas e óxidos metálicos em nanoescala [...] Apontam a necessidade de ponderar cuidadosamente como os nanomateriais foram caracterizados, quando se avaliam suas potenciais atividades biológicas (Holsapple, 2005, p. 15).

> Estudos publicados [Lam et al, 2004; Shvedova et al, 2005 e Warheit et al, 2004] têm avaliado respostas dos nanotubos de carbono em culturas de células e em pulmões de animais (Poland et al., 2008, p. 423).

Nos casos apresentados, o artigo de Warheit et al. é utilizado para sugerir a existência de diversas pesquisas nessa área, situando o debate de sua própria pesquisa de igual maneira. De modo geral, os autores descrevem os procedimentos de pesquisa de Warheit et al. ou informam sobre a existência de seu artigo. Como pode ser observado, usos bem diferentes são feitos na dependência dos autores quererem reforçar o risco ou a ausência de risco do nanotubo de carbono.

7.5 Artigos que citam Warheit et al. sem apontar para os riscos

Como indicado na Tabela 4, o número de artigos citando Warheit e colaboradores afirmando que esse estudo não sugeria riscos foi bastante reduzida. Em um deles (Kolosnjaj et al., 2009), o autor menciona o artigo de Warheit como um contraponto ao artigo de Lam et al. (2004):

> Enquanto Lam et al concluíram que a exposição ao SWCNT mostrou-se mais tóxica que as exposições ao quartzo e partículas de sílica cristalina, os resultados de Warheit indicam, ***em contraste***, uma inflamação transitória pulmonar e a formação de granulomas após a exposição SWCNT (p. 198, grifos nossos).

Outro ponto a se considerar no artigo de Warheit et al. é o fato de os autores sugerirem que a morte dos roedores utilizados no estudo tenha ocorrido em função de uma obstrução física e não pelos nanotubos em si.[4] Esse aspecto da pesquisa foi mencionado em apenas um dos artigos analisados.

> As mortes observadas em pelo menos dois desses estudos foram atribuídas à obstrução mecânica das vias aéreas e pode não ser significativa em função às altas doses administradas (Stern; McNeil, 2008, p. 11).

Em outro artigo, o autor Philbrick (2010) afirma que vários grupos têm realizado pesquisas sobre os efeitos de longo prazo dos nanotubos de carbono e aponta que Warheit não encontra uma dose-dependente entre formação de granulomas e nanotubos de carbono.

> Vários grupos também investigaram os efeitos a longo prazo dos nanotubos de carbono. A formação de granulomas foi um dos primeiros efeitos relatados [...], embora Warheit e colaboradores não tenham encontrado uma relação dose-dependente e tenham questionado se o fenômeno [a formação de granulomas] poderia ter sido gerado pela técnica experimental (p. 1714).

É bastante significativo que o estudo de Warheit e colaboradores não tenha encontrado uma relação dose-dependente de SWCNT e a formação de granulomas. Apenas três dos artigos analisados apontam esse resultado do trabalho do autor.

Da mesma forma, a afirmação de que a possível inflamação diminui com o tempo também é pouco citada. A exceção está nos artigos seguintes:

4. A exposição a doses elevadas (5 mg/kg) de nanotubos de carbono SWCNT produziu mortalidade em 15% dos ratos, 24h pós-instilação. Após extensa investigação, concluiu-se que essa mortalidade foi determinada pelo bloqueio mecânico das vias aéreas superiores causada pela instilação, e não em função da toxicidade pulmonar inerente às partículas de SWCNT.

> [...] eles [os granulomas[5]] não eram de distribuição uniforme, nem progressivos além de um mês, que foi o tempo de observação pós-exposição de SWCNT. Apresentavam as seguintes características: ausência de toxicidade pulmonar observada por lavagem nos parâmetros de avaliação, ausência de toxicidade pulmonar medida pelos parâmetros de proliferação celular, aparente falta de uma relação dose-resposta, distribuição não uniforme das lesões, paradigma de efeitos de toxicidade devido ao pó acumulado no pulmão, ***e uma possível regressão de efeitos ao longo do tempo***. A observação de granulomas, na ausência de efeitos adversos medidos por parâmetros pulmonares, ***foi surpreendente***, e não seguem o padrão normal inflamatório fibrótico produzido pelas poeiras fibrogênicas, como quartzo, amianto, e filamentos de carboneto de silício (Kolosnjaj et al., 2009, p. 198, grifo nosso).

Na citação, o autor afirma que as diferenças apontadas no artigo de Warheit e colaboradores sobre os efeitos dos nanotubos nos pulmões dos ratos quando comparados aos efeitos de outras partículas é ***surpreendente***. Mas isso não conduziu o autor a concluir que, por ser diferente (surpreendente, nas palavras dele), será mais tóxico, pelo contrário. O autor afirma que o nanotubo de carbono foi submetido em vários 'testes' de toxicidade, tendo apresentado resultado negativo em todos, mostrando-se, assim, diferente de outros compostos quanto a:

a) ausência de toxicidade pulmonar por lavagem nos parâmetros de avaliação;
b) ausência de toxicidade pulmonar medida pelos parâmetros de proliferação celular;
c) aparente falta de uma relação dose-resposta;
d) distribuição não uniforme das lesões;
e) paradigma de efeitos de toxicidade devido ao pó depositado no pulmão.

5. Granuloma é um nódulo microscópico de inflamação nos tecidos, uma massa organizada de macrófagos.

O autor desse artigo parece fazer uso da lógica dedutiva, afirmando que o nanotubo de carbono de parede simples, além de não passar nos "testes", é diferente de outras poeiras fibrogênicas. Assim, ele acrescenta: o nanotubo de carbono (A) se comporta diferente de quartzo (B), amianto (C) e de filamentos de carboneto de silício (D). Sendo que B, C e D são tóxicas, logo A não é tóxico.

Ou:

Se B, C e D são tóxicas;
A se comporta diferente de B, C e D;
LOGO
A não é tóxica.

Neste caso, parece que o entendimento de que o não conhecimento é gerador de mais incertezas e, consequentemente, de que a perspectiva de incertezas pode levar a mais riscos, não está presente. O que fica aparente é o entendimento de que, se é diferente dos riscos conhecidos, não é passível de preocupação. Assim, para esse autor, ser diferente do risco é um indício de não risco, e esse é um argumento não corrente em outros artigos.

Com essas diferentes abordagens para um mesmo artigo, é possível visualizar as diferentes lógicas utilizadas para se entender uma 'evidência'. Se, para alguns cientistas, o fato de o nanotubo de carbono não apresentar um comportamento 'esperado' – os granulomas provocados por sua ação no organismo mostram-se diferentes de granulomas provocados por outros compostos sabidamente patogênicos – representa uma 'evidência' de sua toxicidade, por outro lado, essa mesma característica também pode ser interpretada como uma 'evidência' de sua pouca toxicidade, já que se os outros granulomas são sabidamente patogênicos e esses são diferentes. A primeira suposição entende o material como mais problemático, enquanto a segunda o interpreta como menos problemático.

7.6 Artigos que citam Warheit e colaboradores para afirmar que, SIM, há riscos

Como afirmado anteriormente, a pesquisa de Warheit et al. já havia sido citada duas vezes antes mesmo de sua publicação. Assim, no ano de 2003, quando a primeira citação à sua pesquisa foi feita, o autor que a mencionou já havia dado ênfase à possível toxicidade encontrada pelo grupo de pesquisa. David Warheit, da DuPont em Wilmington, Delaware, informou que os nanotubos podem danificar o tecido de pulmão de ratos (Service, 2003, p. 243).

É um texto de divulgação, dirigido para cientistas, e apresenta as duas pesquisas recentes na área. Além dessa citação, o autor menciona, também, a pesquisa conduzida por Lam et al. (2004) que, de acordo com ele, teve como conclusão uma possível atividade tóxica causada pelos nanotubos. Em seu artigo, Service aproxima o resultado das pesquisas realizadas pelos grupos de Lam e de Warheit, atitude bastante frequente, como veremos mais adiante.

Primeiramente, é mencionado o estudo de Lam e colaboradores sobre a formação de granulomas e outras alterações no tecido pulmonar, os quais seriam sinais conhecidos de toxicidade. Posteriormente, há a menção a Werheit et al.: Warheit relatou ter visto formação de granuloma em um estudo semelhante, mas observou que a inflamação parecia a diminuir após 3 meses (Service, 2003, p. 243). Assim, até mesmo o artigo sugerindo haver diminuição da inflamação após três meses, sendo isso um indicativo de algo não tóxico, deu ênfase à toxicidade. É compreensível que um artigo destinado a apresentar um problema o enfatize, mas é bom reforçar o fato de que esse não é um artigo de divulgação científica, mas de divulgação entre os cientistas. A revista *Scientist* tem como público os próprios cientistas em suas diferentes especialidades. No texto, fica bastante explícito que a organização das frases, a organização textual, leva o leitor a perceber que há um problema e que este deve ser mais estudado.

No segundo artigo, os trabalho de Warheit et al. (2004) e de Lam et al. (2004) também foram mencionados em conjunto, acrescentando, ainda, o artigo de Shvedova et al. (2005), compondo o "núcleo denso"

das publicações sobre nanotubos de carbono e risco e, na maior parte das vezes, apresentando sentenças como essa:

> Vários estudos [Warheit et al; 2004, Lam et al e Shvedova et al, 2005.]utilizando a instilação intratraqueal de altas doses de nanotubos em roedores demonstraram inflamação pulmonar crônica, incluindo estranha formação de granulomas e fibrose intersticial (Nel et al., 2006, p. 624).

No trecho apresentado, o fato de os granulomas apresentarem "formação estranha" é entendida como indicativo de risco[6], pois é citado como um demonstrativo de inflamação pulmonar crônica. Outro artigo também cita os mesmo três autores e afirma:

> Esses estudos anteriores [Warheit et al; 2004, Lam et al e Shvedova et al, 2005.] relataram a formação de granuloma significativo e, em alguns trabalhos, foi observada fibrose em combinação com granulomas (Reilly, 2007, p. 1040).

Novamente, em outro artigo, as mesmas três publicações são citadas para apontar a toxicidade do nanotubo de carbono:

> 'Nanotubos de carbono de parede única (SWCNT) produzem granulomas multifocais nos pulmões de ratos e camundongos expostos por instilação intratraqueal ou aspiração por faringe, sem a inflamação persistente de respostas típicas do pulmão para fibras e outras partículas pouco solúveis [Warheit et al; 2004, Lam et al e Shvedova et al, 2005.] (Kuempeled; Schulte, 2007, p. 127).

Mais um artigo cita os mesmos autores em conjunto. Mas o interessante, neste caso, é que o autor não apenas menciona o resultado das pesquisas anteriores – a formação de granulomas – como, também, afirma o ***potencial risco já conhecido*** do nanotubo de carbono de forma mais geral.

---

6. Mais adiante, será discutido como esse mesmo fato pode ser, também, um indicativo de não risco.

> [Nanotubos de carbono e nanotubos de parede simples (MWCNT)] são biopersistentes e ***têm potencial para induzir reações inflamatórias e fibróticas*** [Warheit et al; 2004, Lam et al e Shvedova et al, 2005.] (Muller et al., 2008, p. 427).

É interessante notar que, nesse artigo, o modo como o problema do nanotubo de carbono foi apresentado é diferente dos até então destacados. Se antes as sentenças eram escritas de forma semelhante a "pesquisas mostram que o nanotubo de carbono produz granulomas multifocais nos pulmões dos ratos", apresentando o material como um potencial risco desconhecido ou um risco desconhecido, esse afirma ser o nanotubo de carbono um portador de risco potencial, como sugere a sentença destacada, em seu trecho: "nanotubo de carbono tem o potencial para induzir reações inflamatórias".

A seguir, na Tabela 5, são apresentados dois exemplos de sentenças para ressaltar as diferenças na maneira de apresentar os riscos.

Tabela 5. Exemplos comparativos de sentenças que apresentam os riscos potenciais dos nanotubos de carbono.

Potencial risco desconhecido	Potencial Risco
SWCNTs podem ser mais tóxicos que o quartzo, uma partícula com reconhecidos riscos associados à exposição em ambiente de trabalho (Dreher et al., 2005).	CNT [os nanotubos de carbono e nanotubos de parede simples (SWCNT)] são biopersistentes e **têm potencial para induzir reações inflamatórias e fibróticas** (Muller et al., 2008)
Nessa sentença, o autor aproxima o SWCNT de outra partícula tóxica para apontar a potencial toxicidade do nanotubo de carbono.	Nessa sentença, não foi mobilizado "ratos", nem "pulmões". O autor afirma que os CNTs e os SWCNTs têm potencial para induzir reações inflamatórias e fibróticas. Vale ressaltar que as reações não são mais apontadas como ocorrendo apenas em ratos.

Outro ponto que merece ser ressaltado nos artigos que empregam o trabalho de Warheit e colaboradores para apresentar os riscos é representada pela relação existente entre o próprio artigo e a questão dos possíveis riscos à saúde apresentados pelos nanotubos de carbono apresentam. A seguir, os quatro trechos selecionados que ilustram o caso.

> Até que ponto os nanotubos de carbono são capazes de afetar a saúde é um debate aberto, e os dados atualmente disponíveis são insuficientes para uma avaliação de risco conclusiva. A literatura sugere toxicidade potencial. Em particular, esses primeiros estudos, com foco principalmente na inalação e exposição cutânea, revelaram toxicidade pulmonar e dérmica" (De Nicola et al., 2009, p. 601).

> Com crescente interesse em seu potencial de toxicidade, os efeitos adversos de nanotubos de carbono estão sendo investigados intensivamente. Nos últimos anos, muita pesquisas in vivo (SHVEDOVA ET AL., 2003;. LAM ET AL., 2004;. WARHEIT ET AL., 2004;. POLAND ET AL., 2008; TAKAGI ET AL., 2008) e in vitro (CUI ET AL., 2005; JIA ET AL., 2005; MONTEIRO-RIVIERE ET AL., 2005; SAYES ET AL., 2006;. TIAN ET AL., 2006; MULLER ET AL., 2008) têm documentado os potenciais efeitos adversos à saúde associados com a exposição aos nanomateriais carbonáceos (Patlolla et al., 2010, p. 609).

Nos dois trechos citados, há uma ênfase nas pesquisas que foram desenvolvidas na área. Mostram como o debate sobre a relação entre nanotubo de carbono e saúde permanece em "aberto". No entanto, alguns artigos ampliam ainda mais a relação entre nanotubo de carbono e saúde. Os próximos dois trechos são elucidativos.

> Devido às aplicações comerciais dos nanotubos de carbono, seus efeitos à saúde são de grande interesse e *têm demonstrado potencialidade de exposição pulmonar em ambientes de trabalho*. Alguns pesquisadores têm mostrado que os nanotubos de carbono causam dano pulmonar após a instilação intratraqueal, incluindo a formação de granulomas, inflamação e danos celulares (Mitchell et al., 2009, p. 451).

> O campo já percorreu um longo caminho em poucos anos desde que os nanotubos de carbono – instilados nos pulmões como globos relativamente grandes e chamados de aglomerado – foram primeiramente relatados por causar letalidade em roedores [citação dos artigos de Warheit colaboradores e de Lam

> e colaboradores], levantando a possibilidade de que a exposição de nanomateriais *possa representar sérios riscos à saúde dos seres humanos* (Elder, 2009, p. 409).

Nos artigos citados, é interessante observar que há um novo aliado na discussão sobre nanotubos de carbono e seus riscos – "os seres humanos". No primeiro trecho, esse aliado humano aparece na forma do trabalhador e, no segundo, como indivíduos possivelmente expostos a nanomateriais. Passar de ratos a humanos, ou seja, da avaliação dos riscos verificados em laboratório, em pesquisas *in vivo,* para fora do laboratatório, para a dimensão dos 'seres humanos', não deixa de ser, de certa forma, uma arbitrariedade dos cientistas. Se, por um lado, há um acúmulo de conhecimento gerado que permite demonstrar que há indícios de toxicidade em ratos, por outro lado, uma lógica indutiva se faz presente, pois, se os nanotubos de carbono podem causar alterações nos pulmões dos ratos, e se os seres humanos têm pulmões, logo: os nanotubos de carbono também causarão alterações nos pulmões humanos. O esquema a seguir ilustra as diferenças nas sentenças que aparecem em algumas citações feitas do artigo de Warheit et al.

"Nanotubos de carbono ***podem causar*** problemas em pulmões de ratos"

⇓

"Nanotubos de carbono ***causam*** problemas em pulmões de ratos"

⇓

"Nanotubos de carbono ***podem causar*** problemas à saúde"

⇓

"Nanotubos de carbono ***causam*** problemas à saúde"

⇓

"Nanotubos de carbono ***podem causar*** problemas à saúde humana"

⇓

"Nanotubos de carbono ***causam*** problemas à saúde humana"

Vale ressaltar que a multiplicidade de sentenças não se deve apenas aos novos artigos, que teoricamente agregariam mais pesquisas e, seria de se supor, mais conhecimentos. Isso realmente ocorreu, mas o que é fundamental ser ressaltado aqui é que o próprio artigo de Warheit e colaboradores foi sendo modificado. Como foi afirmado anteriormente, entende-se que a constituição do conhecimento é um vetor retroalimentado pelo próprio conhecimento e, no decorrer das citações, diferentes ontologias foram sendo reveladas a partir do artigo de Warheit et al. O trecho seguinte é, também, ilustrativo.

> Efeitos sobre a saúde causados por SWCNT foram intensamente estudados por diversos grupos de pesquisa [SHVEDOVA ET AL., 2005; LAM ET AL., 2004; WARHEIT ET AL., 2004]. Estes relataram *alguns efeitos à saúde* (Myojo et al., 2008, p. 92).

Um ponto relevante é representado pela expressão "[...] têm demonstrado", empregada pelo autor, ainda que não aponte quem tem demosntrado. O sujeito oculto da frase é o próprio nanotubo de carbono. Nessa sentença, o nanotubo de carbono é apresentado como um ator que tem a capacidade de, sozinho, não precisar mais de ratos, nem de autores, nem de seus artigos para, sozinho – e 'sozinho', nesse contexto, não deve ser entendido como isolado – "demonstrar a potencialidade de alteração pulmonar em ambientes de trabalho". Nessa sentença, quanto menos nominal, menos autoral, mais forte ela se torna, mais próxima de um fato ela está. Os aliados – ratos, cientistas, citações de outras pesquisas – que foram importantes antes, aqui já não se fazem mais necessários; o portador de agência, o nanotubo de carbono, já pode 'falar'. Continuando a formação do quadro em direção à constituição do risco do nanotubo de carbono, pode ser acrescentado mais um momento – o risco.

Tabela 6. Exemplos comparativos de sentenças que apresentam os riscos potenciais dos nanotubos de carbono.

Potencial risco desconhecido	Risco desconhecido	Potencial Risco	Risco
SWCNTs podem ser mais tóxicos que o quartzo, uma partícula com reconhecidos riscos associados à exposição em ambiente de trabalho (Dreher et al., 2005).	[...] Warheit et al. têm demonstrado que ratos com pulmões expostos a SWCNTs **produziram evidências** de uma reação externa no corpo do tecido. (Murr e Soto, 2004)	CNT [os nanotubos de carbono e nanotubos de parede simples (MWCNT)] são biopersistentes e **têm o potencial para induzir reações inflamatórias e fibróticas** (Muller et al., 2008)	Efeitos sobre a saúde de SWCNT foram intensamente estudados por diversos grupos de pesquisa [SHVEDOVA ET AL., 2005; LAM ET AL., 2004; WARHEIT ET AL., 2004]. Estes relataram **alguns efeitos à saúde.** (Myojo et al., 2008)
Nessa sentença o autor aproxima o SWCNT de outra partícula tóxica para apontar a potencial toxicidade do nanotubo de carbono.	Nessa sentença, ratos e exposições pulmonares foram mobilizados para que o autor apontasse que se produziu evidências de uma reação expterna no corpo dos tecidos.	Nessa sentença, "ratos" ou "pulmões" não foram mobilizados. O autor afirma que os CNTs e os SWCNTS têm potencial para induzir reações inflamatórias e fibróticas. Vale ressaltar que as reações não são mais apontadas como apenas em ratos.	Nessa sentença, já se destaca o acúmulo de conhecimento sobre os riscos do nanotubo de carbono, "intensamente estudados", e mosta que as pesquisas relatam efeitos para a saúde.

7.7 Considerações finais

Seguindo o caminho do nanotubo de carbono, vimos a sua 'caminhada' rumo a um material que apresenta riscos. O que pudemos observar é que não há nos artigos uma lógica cumulativa, que se vai do não saber ao saber, mas uma situação mais complexa. A cada nova 'evidência', ou seja, a cada novo ator arrolado na rede de constituição do nanotubo de carbono como um material arriscado, o artigo anterior era traduzido e reforçado seu caráter de objeto portador de riscos. E isso não se deu apenas por acúmulo de conhecimento, mas uma retroalimentação do mesmo conhecimento. Ou seja, o argumento inicial recebia mais força no argumento seguinte, e isso não fortalecia apenas o argumento inicial, mas o modificava. Seguindo a mesma trajetória do artigo de Warheit, o próprio nanotubo de carbono foi sendo performado e sua face de material que é portador de riscos se mostrou mais significativa. Quanto mais artigos mostravam que o nanotubo de carbono é um material que apresenta riscos, mais o nanotubo de carbono se configurava dessa forma.

Referências

COLVIN, V. L. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. *Nature Biotechnology*, v. 21, out. 2003, p. 1166.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES) *Portal de Periódicos da CAPES*. 2001. Disponível em: <http://www.periodicos.capes.gov.br>. Acesso em: 01 junho de 2011.

DE NICOLA et al. Effects of carbon nanotubes on human. *Monocytes Natural Compounds and Their Role in Apoptotic Cell Signaling Pathways: Ann. N.Y. Acad. Sci.*, v. 1171, p. 600-605, 2009.

DONALDSON, K. et al. Carbon nanotubes: a review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety. *Toxicological Sciences*, v. 92, n. 1, p. 5-22, 2006.

DONALDSON, K.; POLAND, C. Nanotoxicology: new insights into nanotubes. *Nature Nanotechnology*, v. 4, p. 708-710, 2009.

DREHER, K. L. Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles. *Toxicological Sciences*, v. 77, p. 3-5, 2004.

ELDER, A. Nanotoxicology: how do nanotubes suppress T cells? *Nature Nanotechnology*, v. 4, p. 409-410, 2009.

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

ETC Group, 'Nanotech product recall underscores need for nanotech moratorium',news release, 7 April, Ottawa: ETC Group, 2006.

ETC Group Report. No small matter II: the case for a global moratorium (ETC Group, Ottawa, Canada, 2003.

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

ETC Group, 'Nanotech product recall underscores need for nanotech moratorium',news release, 7 April, Ottawa: ETC Group, 2006.

GUIVANT, J. S.; MACNAGHTEN, P. O mito do consenso: uma perspectiva comparativa sobre governança tecnológica. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, v. 5, p. 89-104, 2011.

HANNIGAN, J. A. *Sociologia ambiental*: a formação de uma perspectiva social. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.

HARRIS, P. *Carbon nanotube science synthesis, properties and applications*. Cambridge University Press, 2009.

HOLSAPPLE, M. P. et al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, Part II: Toxicological and Safety Evaluation of Nanomaterials, Current Challenges and Data Needs. *Toxicological Sciences*, v. 88, n. 1, p. 12-17, 2005.

HUCZKO, A.; LANGE, H. *Fullerene Sci. Tech.*, v. 9, p. 247, 2001.

IIJIMA. *Nature*, v. 354, n. 56, 1991.

INOUE, K.-I. et al. Effects of pulmonary exposure to carbon nanotubes on lung and systemic inflammation with coagulatory disturbance induced by lipopolysaccharide in mice. *Experimental Biology and Medicine*, v. 233, p. 1583-1590, 2008.

KANDLIKAR, M. et al. Health risk assessment for nanoparticles: a case for using expert judgment. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 9, p. 137-156, 2007.

KLAINE, S. J. et al. Nanomaterials in the environment: behavior, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 27, Issue 9, p. 1825-1851, set. 2008.

KOLOSNJAJ, J.; SZWAR, H.; FATHI, M. Toxicity studies of carbon nanotubes. In: CHAN, W. C. W. (Ed.). *Bio-applications of nanoparticles series*: advances in experimental medicine and biology, Vol. 620, 2007.

KUEMPELE; GERACI; SCHULTE. Risk assessment approaches and research needs for nanomaterials: an examination of data and information from current studies. In: SIMEONOVA et al. (Eds.). *Nanotechnology* – toxicological issues and environmental safety. ed. Springer, NATO Security through Science Series, 2007.

LAM, C-W. et al. Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *Toxicological Sciences*, v. 77, p. 126-134, 2004.

LATOUR, B. *Jamais fomos modernos*: ensaio de antropologia simétrica. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1994.

_____. *Ciência em ação*: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: E. UNESP, 2000.

_____. *A esperança de pandora*: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos. Bauru: Edusc, 2001.

_____. The promises of constructivism. In: IHDE, D. (Ed.). *Chasing technology*: matrix of materiality, Indiana, Indiana University Press, 2003, p. 27-46. Disponível em: <http://www.bruno-latour.fr/articles/article/87-CONSTRUCTIVISM.pdf>. Acesso em: COMPLETAR DATA DE ACESSO

_____. *Reassembling the social. An introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University press, 2005.

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

_____. ; WOOLGAR, S. *A vida de laboratório*. A produção dos fatos científicos. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

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*, v. 20, p. 5-27, 2010.

MAYNARD, A. D. *Nanotechnology*: a research strategy for addressing risk. Washington, DC: Project on Emerging Nanotechnologies, 2006.

_____. 'Panel discussion', *Nanotechnology Safety for Success Dialogue Workshop*, 2 October, Brussels: EC, 2008.

_____. ; AITKEN, R. J. Assessing exposure to airborne nanomaterials: current abilities and future requirements. *Nanotoxicology*, v. 1, n. 1, p. 26-41, 2007.

MITCHEL, L. A. et al. Mechanisms for how inhaled multiwalled carbon nanotubes suppress systemic immune function in mice. *Nature Nanotechnology*, v. 4, p. 451-456, 2009.

MOL, A. Ontological politics. A word and some questions. In: LAW, J.; HASSARD; J. (Orgs.). *Actor network theory and after*. Oxford: Blackwell, 1999, p. 74-90.

_____. *The body multiple*: ontology in medical practice. Durham: Duke University Press, 2002.

_____. Política ontológica: algumas idéias e várias perguntas. In: NUNES, J. A.; ROQUE, R. (Org.). *Objetos impuros* – experiências em estudos sociais da ciência. Porto: Edições Afrontamento, 2007.

MULLER, J. et al. Clastogenic and aneugenic effects of multi-wall carbon nanotubes in epithelial cells. *Carcinogenesis*, v. 29, n. 2, p. 427-433, 2008.

MURR, L. E.; SOTO, K. F. TEM comparison of chrysotile (asbestos) nanotubes and carbon nanotubes. *Journal of Materials Science*, v. 39, p. 4941-4947, 2004.

MYOJO, T. et al. Aerosol generation and measurement of multi-wall carbon nanotubes. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 11, n. 1, p. 91-99, 2009.

NEL, A. et al. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science*, v. 311, n. 622, 2006.

PAIK, S. Y.; ZALK, D.; MAND SWUSTE, P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. *Ann. British Occupational Hygiene*, v. 52, n. 6, p. 419-428, 2008.

PASTORIN, G. Crucial functionalizations of carbon nanotubes for improved drug delivery: a valuable option? *Pharmaceutical Research*, v. 26, n. 4, abr. 2009.

PATLOLLA, A. K. et al. Comparative study of the clastogenicity of functionalized and nonfunctionalized multiwalled carbon nanotubes in bone marrow cells of Swiss-Webster mice. *Environmental Toxicology*, v. 25, p. 608-621, 2010.

PHILBRICK, M. An anticipatory governance approach to carbon nanotubes. *Risk Analysis*, v. 30, Issue 11, p. 1708-1722, nov. 2010.

POLAND, C. el al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity ofmice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, v. 3, p. 423-428, 2008.

RAWSTERN, R. Nanotube Surveys. *Disruptive Technology Series, Nanotechnology Now*, 3 nov. 2004. Disponível em: <http://www.nanotech-now.com/nanotube-survey-april2003.htm>. Acesso em: out. 2010.

REILLY, R. M. Carbon nanotubes: potential benefits and risks of nanotechnology in nuclear medicine. *The Journal of Nuclear Medicine*, v. 48, n. 7, p. 1039-42, jul. 2007.

SARGENT et al. Induction of aneuploidy by single-walled carbon nanotubes. *Environmental and MolecularMutagenesis*, v. 50, p. 708-717, 2009.

SEATON, A. Nanotechnology and the occupational physician. *Occupational Medicine*, v. 56, p. 312-316, 2006.

SERVICE, R. F. Nanomaterials show signs of toxicity prev. *Science*, v. 300, n. 5617, p. 243, 11 abr. 2003.

_____. Nanotechnology grows up. Is the field moving so fast that it's destined to repeat the mistakes of earlier technological revolutions? *Science*, v. 304, p. 1732-1734, 18 jun. 2004.

SHVEDOVA, A. et al. Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. *AJP - Lung Cellular and Molecular Physiology*, v. 289, p. L698-L708, 1 nov. 2005.

STERN, S. T.; MCNEIL, S. E. Nanotechnology safety concerns revisited. *Toxicological Sciences*, v. 101, n. 1, p. 4-21, 2008.

THOMAS, K. el al. Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, Part VIII: International Efforts to Develop Risk-Based Safety Evaluations for Nanomaterials. *Toxicological Sciences*, v. 92, n. 1, p. 23-32, 2006.

TSUJI, J. S. et al. Research Strategies for Safety Evaluation of Nanomaterials, Part IV: Risk Assessment of Nanoparticles. *Toxicological Sciences*, v. 89, n. 1, p. 42-50, 2006.

WARHEIT, D. B. et al. Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *Toxicological Sciences*, v. 77, p. 117-125, 2004.

WARHEIT, D. B. Long-term inhalation toxicity studies with multiwalled carbon nanotubes: closing the gaps or initiating the debate? *Toxicological Sciences*, v. 112, n. 2, p. 273-275, 2009.