

Padrão de relacionamento entre nanociências, saúde e biologia: um levantamento histórico utilizando o programa Citespace

*The pattern of relationships
between nanosciences, health,
and biology: a historical
survey using Citespace*

Magda Suzana Novo

Técnica em Educação/Universidade Federal do Rio Grande (Furg).
Av. Itália, km 8, s/n
96203-900 – Rio Grande – RS – Brasil
magda@vetorial.net

Laura Alicia Geracitano

Professora colaboradora da Pós-graduação em
Educação em Ciências: Química da Vida e da Saúde/Furg.
Av. Itália, km 8, s/n
96203-900 – Rio Grande – RS – Brasil
laurageracitano@gmail.com

Paula Henning

Professora do Instituto de Educação e da Pós-graduação
em Educação em Ciências: Química da Vida e da Saúde/Furg.
Av. Itália, km 8, s/n
96203-900 – Rio Grande – RS – Brasil
paula.henning@aig.com.br

Recebido para publicação em março 2011.

Aprovado para publicação em abril 2012.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702013005000008>

NOVO, Magda Suzana; GERACITANO, Laura Alicia; HENNING, Paula. Padrão de relacionamento entre nanociências, saúde e biologia: um levantamento histórico utilizando o programa Citespace. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v.20, n.4, out.-dez. 2013, p.1657-1670.

Resumo

Traça um padrão de relacionamento entre nanociências, saúde e biologia para estabelecer um panorama histórico no campo das nanociências. Utilizou-se o banco de dados Web of Science, com levantamento inicial pelas palavras-chave *nanoscience* e *nanotechnology* e também de palavras relacionadas a biologia e saúde. A aplicação do programa Citespace permitiu visualizar o padrão de relacionamento entre os tópicos lançados na base de pesquisa, proporcionando identificação de momentos de explosão e de ruptura do tema. Os dados obtidos mostram que a relação entre essas áreas emerge a partir de 2006, estando a maioria relacionada a nanomedicina. Trabalhos sobre nanotoxicologia também aparecem de forma significativa, uma vez que essas duas áreas necessitam caminhar juntas.

Palavras-chave: nanociências; biologia; saúde; Citespace; padrão de relacionamento.

Abstract

The article traces a pattern of relationships between nanosciences, health, and biology to provide a historical overview of the nanoscience field. Input data came from the Web of Science databank, through a search first based on the keywords 'nanoscience' and 'nanotechnology' and also the selection of words related to biology and health. Application of the Citespace program made it possible to visualize the pattern of relationships between topics in the research base, allowing identification of burst and centrality points on the subject. Data findings show that the relationship between these areas emerged in 2006, most of them related to nanomedicine. There are also a significant number of works on nanotoxicology, since these two areas necessarily come hand in hand.

Keywords: nanosciences; biology; health; Citespace; pattern of relationships.

Bastante recentes na história da ciência, as nanociências e nanotecnologias referem-se ao estudo de estruturas que apresentam tamanho muito reduzido e à aplicação tecnológica dessas estruturas para produção de novos materiais, respectivamente. As diminutas estruturas denominadas nanopartículas são construídas através da manipulação de átomos, apresentando como unidade de medida o nanômetro, bilionésima parte do metro.

O rápido desenvolvimento dessa ciência, hoje em dia observado, deve-se à contribuição de várias áreas científicas. De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2010), a multidisciplinaridade é uma das características marcantes da nanotecnologia; trata-se do encontro de física, química, biologia, medicina, entre outras ciências que atuam de forma engajada na busca de novos materiais e na confecção de produtos. Dentre eles cabe destacar os nanorrobôs que têm como uma de suas propostas revolucionar as terapias utilizadas no tratamento do câncer, uma vez que terão como alvo somente as células malignas, reduzindo os efeitos colaterais causados pelos tratamentos convencionais (Santucci, 2008; Heath, Daves, Hood, 2009).

Essa influência impactante nos mais diversos setores, com promessas de melhoria da qualidade de vida da população, nos motivou a direcionar nosso olhar para as áreas da biologia e da medicina, ambas com grande potencial de aplicação da nanotecnologia.

Neste artigo olhamos para a história da nanotecnologia, que pensamos ter, assim como todas as demais histórias, muitas lacunas, uma vez que cada leitura tem seus recortes próprios. Nas palavras de Bauman (2005, p.26): “Histórias são como holofotes e refletores – iluminam partes do palco enquanto deixam o resto na escuridão. Se iluminassem igualmente o palco todo, de fato não teriam utilidade. ... É um grave equívoco, além de uma injustiça, culpar as histórias por favorecerem uma parte do palco e negligenciarem outra”.

Ao nos debruçarmos sobre essa história, certamente daremos voz a alguns acontecimentos e silenciaremos outros, pois os fatos por nós ‘iluminados’ estarão diretamente relacionados a nossas experiências e questionamentos. Não podemos, porém, deixar de considerar a importância de utilizar, no resgate histórico, algumas pistas genealógicas, pois elas nos levarão a compreender os discursos que estão sendo aceitos no tempo atual, uma vez que esses objetos nanotecnológicos existem dentro de uma prática, de um discurso que os constitui.

Em relação à história em questão, podemos considerar que um dos marcos da nanotecnologia foi a palestra proferida por Richard Feynman, em 1958, no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), intitulada “There’s plenty of room at the bottom” (Há mais espaço lá embaixo). Durante a explanação o cientista discutiu a diversidade da utilização de nanomateriais, dando como exemplo a possibilidade de condensar todos os volumes da *Enciclopédia Britânica* na cabeça de um alfinete. Fez referência a objetos, como computadores, que poderiam ser otimizados com o emprego dessa tecnologia e também destacou as possíveis vantagens de utilizá-la na área biológica.

Da palestra de Feynman (1960) até meados da década de 1980, não havia muitos estudos divulgados nessa área. Em 1986 o tema foi popularizado por Eric Drexler em seu livro *Engines of creation: the coming era of nanotechnology*, ao referir-se à construção de máquinas em escala molecular, de apenas alguns nanômetros de tamanho: motores, braços de robô, computadores inteiros, muito menores do que uma célula. Drexler passou os dez anos seguintes a descrever e analisar esses incríveis aparelhos e a dar resposta às acusações de ficção científica.

A partir dos trabalhos desse cientista, muitos outros vieram. Achados de grande relevância nessa área foram as descobertas químicas sobre as diversas possibilidades de ligação entre dois átomos de carbono adjacentes. Dentre os nanomateriais de carbono destacam-se os fulerenos e nanotubos de carbono, sintetizados por Kroto em 1985 e Iijima em 1991, respectivamente.

Além dos nanomateriais de carbono, as nanopartículas de prata, sintetizadas por Durán et al. (2005), também merecem destaque, por apresentar forte ação bactericida, com ampla aplicação na área da saúde, em ferimentos contaminados, uniformes hospitalares e vestuário em geral. Conforme Li, Galli e Gygi (2008), as nanopartículas de ouro também apresentam importante aplicabilidade na medicina, sendo utilizadas como sistemas de *drug delivery*, isto é, são capazes de carregar medicamentos e liberar drogas no organismo humano de forma controlada.

Como podemos observar, a popularização do termo nanotecnologia ocorreu a partir da década de 1980, mas o emprego da técnica, sem a utilização da palavra, é muito anterior, datando da época dos grandes filósofos. Nesse contexto cabe salientar que Blaise Pascal, no século XVII, desafiou o homem quanto ao infinitamente grande e o infinitamente pequeno. Apesar de não existirem, na época, recursos tecnológicos que lhe permitissem compreender a natureza do infinito, ele formulou hipóteses geométricas, algébricas e filosóficas sobre o tema; foi, porém, sobretudo a partir da segunda metade do século XX que se deu a compreensão de que o mundo do infinitamente pequeno é muito diferente do mundo que vemos (Nalli, 2012).

Assim, podemos considerar que a nanotecnologia, embora sem menção a esse nome, apresenta longa trajetória, ainda que, para tornar-se fato comum em nossas vidas com produtos dela derivados sendo utilizados em larga escala, precisemos resgatar alguns dados históricos, sem os quais ela não teria dado 'o grande salto'. Buscamos então alguns fatos no passado histórico dessa ciência, através dos recortes que julgamos importantes para entender sua emergência.

Sendo as nanociências bastante atuais e tendo futuro mais do que promissor, levantamos alguns questionamentos que julgamos pertinentes: quando emerge a nanotecnologia na história? Que acontecimentos científicos permitiram seu grande avanço com uso tão amplo hoje em dia? Que momento demarca o uso da nanotecnologia nas áreas biológicas e na saúde? Os temas abordados nas reportagens das revistas *Veja* e *Scientific American* estão relacionados com as novidades científicas divulgadas na área das nanotecnologias, em especial no campo da saúde e da biologia?

Para dar conta de responder a essas questões, usamos o padrão de relacionamento obtido através do programa Citespace, identificamos os momentos de explosão e de ruptura dos temas e verificamos se os temas de divulgação científica apresentados pelas revistas citadas coincidem com os temas emergentes dos artigos acadêmicos selecionados na base Web of Science.

Metodologia

O resgate histórico foi realizado através de uma revisão dos fatos que compõem a história dessa ciência, destacando as rupturas e explosões de temas emergentes através da análise de palavras-chave de artigos que constituem nossa base de dados, gerada através do uso da base de dados Web of Science e do programa cientométrico Citespace.

A rede Web of Science, segundo o tutorial, disponível em http://www.biblioteca.eng.ufrgs.br/WEB_OF_SCIENCE.pdf, é base de referência bibliográfica, que possibilita, no âmbito acadêmico, o acesso a diversos títulos de periódicos. Através dela também é possível encontrar quais os textos citados por determinado artigo ou verificar quantas vezes um artigo foi citado e por quem. É uma das bases de artigos científicos mais usadas no mundo, com mais de 36 milhões de registros, atualizados semanalmente.

Quanto ao programa Citespace, segundo Chen (2005), é ferramenta que permite a visualização de novas tendências na literatura científica, por meio da qual é possível detectar pontos de viragem intelectual, o modo de ocorrência da evolução de determinada área, em meio a rupturas (quando um determinado conhecimento abre espaço para o surgimento de novidades científicas) e explosões (momentos em que ocorre aumento significativo de publicação de trabalhos sobre o mesmo tema), e interligações entre as diferentes frentes de investigação, utilizando base de dados composta por um grande número de artigos.

No primeiro levantamento realizado na Web of Science foram utilizados os tópicos *nanoscience* e *nanotechnology*, pesquisa refinada por documento, artigo e/ou revisão. O conjunto de artigos foi analisado com o programa Citespace, gerando um padrão de relacionamento entre suas palavras-chave e, assim, nos fornecendo uma listagem de palavras-chave ordenadas por sua centralidade ou explosão do tema.

A partir dessa análise, o programa gera uma figura para cada ano ou período estudado. Das figuras obtidas, selecionamos para apresentar no presente artigo a referente a 2007, pelo fato de ela mostrar um padrão claro de organização, o que facilita sua interpretação.

Dos primeiros dados foram filtradas apenas as palavras-chave relacionadas a biologia e a saúde, considerando que essas palavras estariam relacionadas com as presentes nas reportagens sobre a temática nanotecnologia divulgadas nas revistas *Veja* e *Scientific American*, de julho de 2009 a julho de 2010.

Nossa opção por essas revistas ocorreu devido a observação prévia, durante seis meses, em que constatamos que ambas divulgam regularmente matérias sobre novidades nanotecnológicas, legitimadas pelo campo da ciência; há, portanto, credibilidade por parte de cientistas e de leigos, que mediante suas reportagens se aproximam das novidades científicas e tecnológicas, de rápida evolução nessas áreas.

A revista *Veja* é uma publicação da editora Abril direcionada ao público geral. Trata-se da maior revista semanal de notícias do país, com tiragem superior a um milhão de exemplares, segundo dados divulgados pela própria editora (<http://publicidade.abril.com.br/tabelas-gerais/revistas/circulacao-geral>). Já a *Scientific American* está direcionada a um público com conhecimento em uma ou mais áreas da ciência e, de acordo com o *site* da editora Duetto (<https://www.lojaduetto.com.br/produtos/?idproduto=2777&action=info>), é considerada a mais tradicional revista mundial de divulgação científica. A revista espalhou-se por vinte países sendo editada em 16 idiomas, o que mostra que há grande credibilidade e espaço no mercado da divulgação científica, com tiragem média de setenta mil exemplares, conforme dados da Associação Brasileira de Imprensa. Seu principal objetivo é proporcionar a propagação do que há de mais avançado em matéria de ciência.

As reportagens selecionadas nesses dois veículos midiáticos serão *corpus* de análise em trabalho posterior. Aqui faremos menção a elas como uma forma de recorte e de aproximação

com as palavras-chave da base de dados da Web of Science e também com vistas a verificar se as matérias divulgadas nas revistas estão relacionadas com as novidades científicas.

A escolha do período de análise ocorreu em função de esta pesquisa ter-se iniciado em 2009. Para este primeiro recorte metodológico, selecionamos essas reportagens, porém a investigação terá continuidade posteriormente.

Resultados e discussão

Os resultados são apresentados em forma de gráfico e tabelas. A Tabela 1 reúne os resultados gerais das palavras-chave levantadas na Web of Science por períodos. Nela encontram-se explosões e rupturas do padrão de relacionamento de palavras-chave gerado pelo programa Citespace. Esse padrão foi construído a partir de artigos da base de dados Web of Science. O período analisado, 1986 a 2010, demarca o momento em que as pesquisas na área investigada cresceram de forma significativa. O termo explosão (*burst*, no Citespace) refere-se aos momentos em que ocorreu aumento significativo de trabalhos sobre determinado tema, o termo ruptura (*centrality*, no Citespace) significa que um conhecimento científico se expandiu permitindo o surgimento de novos saberes relacionados ao tema inicial. A Tabela 2 contém as palavras-chave das reportagens das revistas *Veja* e *Scientific American*, em que foram divulgadas três e cinco matérias, respectivamente, relacionadas a nanociências, saúde e biologia. A Tabela 3 mostra um recorte da Tabela 1, estando as palavras-chave organizadas por ano, pois os termos que se relacionam às áreas em questão aparecem, de forma significativa, apenas no último período da Tabela 1, de 2006 a 2010.

Cabe salientar que esse recorte foi realizado segundo nosso olhar, uma vez que foram destacadas as palavras que suscitaram nossa atenção. Segundo Foucault (2002) as escolhas que fazemos são sempre a partir de nosso olhar, de inclusões e exclusões dadas pelas relações de poder que se estabelecem. Através da inteligibilidade de estratégias e táticas, selecionamos o que para nós tem sentido e, a partir disso, criamos possibilidades de olhar para as coisas, para os fenômenos do mundo.

Em relação à Figura 1, Chen (2005) menciona que ela mostra a evolução de uma frente de investigação. Através dela podemos observar as interligações das diversas frentes, identificando as tendências de pesquisa em cada ano, em nosso caso 2007. Na Figura 1 os círculos representam os *clusters*, sendo que o maior e central representa a palavra-chave 'nanotecnologia', com maior frequência em relação às demais, aparecendo em 89 trabalhos. Esse cluster conecta-se a vários outros, nos quais se localizam outras palavras-chave por nós selecionadas.

Em relação a essas inter-relações, Burt (1992) menciona que ligações dentro do *cluster* são mais fortes do que entre os *clusters*. As ligações internas mostram que os artigos de diferentes especialidades foram conectados. Essa figura apresenta esses dois tipos de ligações. Em relação às ligações internas, num mesmo *cluster*, podemos observar que as palavras 'proteínas' e 'célula', apresentam-se fortemente ligadas a 'nanotecnologia', o que deve estar relacionado ao aumento de pesquisas na área biológica nesse período. 'In vivo' e 'nanotoxicologia' apresentam igualmente fortes ligações, o que também deve ocorrer em função da evolução das pesquisas nas áreas biológicas e da saúde, pois, para que haja aplicabilidade da nanotecnologia nessas áreas, fazem-se necessários testes toxicológicos *in vivo*.

Tabela 1: Palavras-chave levantadas em Web of Science por período

Tempo	Explosão	Frequência	Palavra-chave	Ruptura	Frequência	Palavra-chave
1986-1990	3,27	40	litografia	-	-	-
1991-1995	12,74	21	nanotecnologia	1,02	21	nanotecnologia
	5,64	22	microscópio de tunelamento eletrônico	0,75	47	sistemas
	4,46	44	construção	0,53	6	camadas superficiais
	3,48	11	junções ramificadas	0,31	39	biossensores
				0,31	23	imobilização
				0,21	22	microscópio de tunelamento eletrônico
				0,21	22	agregação
				0,15	11	difração de raio X
				0,11	49	microscópio de força atômica
				0,07	7	engenharia de proteínas
				0,07	3	<i>Campylobacter fetus</i>
				0,07	2	<i>Thermoproteus tenax</i>
				0,05	13	junções de ácido nucleico
				0,05	8	cadeia simples de DNA
1996-2000	47,06	77	nanotecnologia	0,25	27	microscópio de força atômica
	12,22	196	nanotubos de carbono	0,21	77	nanotecnologia
	5,68	99	superfícies	0,2	99	superfícies
	5,23	22	<i>langmuir-blodgett-films</i>	0,19	90	moléculas
	4,48	68	microscópio de força atômica	0,15	73	ouro
	4,27	15	<i>mosfets</i>	0,14	8	<i>streptavidin</i>
	4,12	7	filmes	0,14	50	monocamadas
	3,78	36	reconhecimento	0,14	116	fabricação
	3,59	6	superfície	0,12	36	reconhecimento
	3,53	6	silício	0,11	55	proteínas
	3,53	6	microscópio de tunelamento eletrônico	0,11	61	química
	3,52	60	dispositivos	0,1	475	nanopartículas
	3,28	51	microscópio de tunelamento eletrônico	0,07	68	microscópio de força atômica
				0,07	5	absorção
				0,06	51	microscópio de tunelamento eletrônico
				0,06	41	resolução

Tabela 1: Palavras-chave levantadas em Web of Science por período

Tempo	Explosão	Frequência	Palavra-chave	Ruptura	Frequência	Palavra-chave
1996-2000				0,06	49	deposição
				0,06	15	interface ar-água
				0,05	7	filmes
				0,05	6	superfície
				0,05	136	pontos quânticos
				0,05	147	crescimento
				0,05	4	projeto
2001-2005	55,25	133	nanofios	1,45	500	nanotecnologia
	38,22	120	automontagem	0,09	54	nanoestruturas
2006-2010	8,27	60	propriedades ópticas	0,26	1278	nanotecnologia
	7,5	62	entrega	0,26	384	nanopartículas
	6,39	99	carregadores de drogas	0,05	105	pontos quânticos
	5,42	101	<i>in vivo</i>	0,05	145	nanotubos de carbono
	5,16	94	nanomateriais			
	4,32	82	materiais nanoestruturados			
	3,88	69	carregadores de drogas			
	3,66	75	câncer			

Fonte: elaborada pelas autoras

Tabela 2: Palavras-chave levantadas nas revistas *Veja* e *Scientific American*

<i>Veja</i>	<i>Scientific American</i>
Células-alvo	Nanotransportadores
Câncer	Câncer
Cosméticos	Microcirurgias
Micropartículas	Anticorpos
Transportadores químicos	Robôs microscópicos
Medicamentos	Medicamentos
Testes <i>in vivo</i>	Nanotubos de carbono
	Saúde

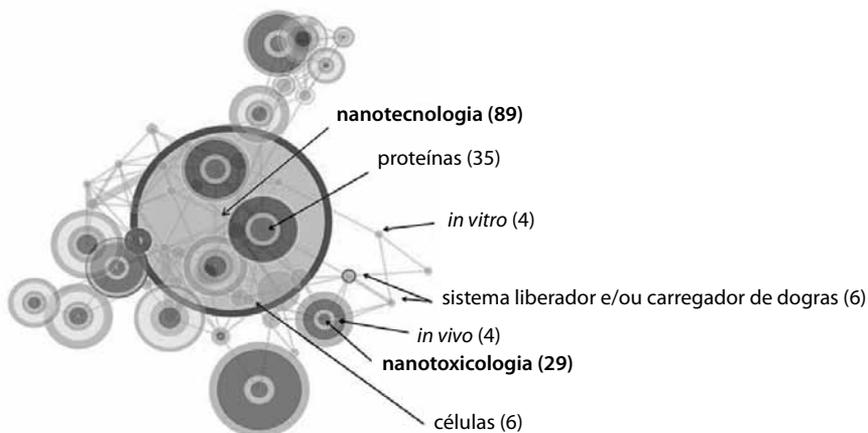
Fonte: elaborada pelas autoras

Tabela 3: Subconjunto de palavras-chave levantadas em Web of Science, por período

Ano	Palavras-chave ordenadas por explosão	Palavras-chave ordenadas por ruptura
2006		nanomedicina; câncer
2007	nanotoxicologia; proteínas	carregadores de drogas; proteínas; células; nanotoxicologia; <i>in vivo</i> ; <i>in vitro</i>
2008		células; <i>in vivo</i> ; carregadores de drogas; saúde; células cancerígenas,
2009	carregadores de drogas, toxicidade; <i>in vivo</i> ; câncer	<i>in vivo</i>
2010	Citotoxicidade; carregadores de genes; lipossomas; terapia	carregadores de drogas; lipossomas; toxicidade; câncer

Fonte: seleção feita pelas autoras a partir de dados gerados por Citespace

Figura 1: Padrão de relacionamento gerado pelo programa Citespace relativo a 2007



Fonte: Citespace

Por outro lado, o *cluster* central está conectado a todos os demais, o que demonstra relação entre todas as palavras-chave da figura.

Segundo Chen (2005) as cores dos anéis significam o ano, e sua espessura é proporcional ao número de citações, ou seja, a frequência naquele intervalo de tempo. Além de representar os anos, as cores dos anéis, segundo o mesmo autor, possuem outros significados: vermelho ao redor, explosão de trabalhos; rosa, momentos de revolução, focos de grande importância.

Usando as cores como referência, na Figura 1 a cor azul corresponde a 2007. A palavra ‘nanotecnologia’ aparece como a mais citada, estando presente em 89 trabalhos, representada, portanto, por anel mais espesso. Em segundo lugar encontra-se a palavra ‘proteínas’, com frequência de 35 trabalhos encontrados na base de dados.

Os círculos vermelhos, ao redor das explosões em que estão localizados os temas ‘nanotoxicologia’ e ‘proteínas’, mostram que houve grande quantidade de trabalhos nessa área, provavelmente relacionada com o avanço da nanomedicina, que torna esses temas emergentes, devido à ampla aplicabilidade em seres humanos.

O círculo rosa só aparece ao redor das palavras ‘nanotecnologia’ e ‘proteínas’, ambas com as mais altas frequências de trabalhos, sendo, portanto, temas considerados revolucionários. A palavra ‘nanotecnologia’ aponta, segundo Almeida (2005), para uma nova revolução industrial. Relatam Martins e Braga (2007) que em apenas três décadas experimentamos várias ‘revoluções tecnológicas’ com suas promessas e seus encantos: a microeletrônica, as telecomunicações, a computação, a internet, a biotecnologia, a engenharia genética e agora a nanotecnologia.

A partir do círculo central, em que se encontra a palavra ‘nanotecnologia’ (Figura 1), podemos observar que há vários padrões de relacionamento gerados pelo programa Citespace, dados mais especificados nas Tabelas 1 e 3. Nelas podemos detectar rupturas e tendências emergentes através das explosões e da frequência com que aparecem os temas em estudo. Nesse contexto, Chen (2005) destaca que na prática muitos usuários buscam nesse programa não só os termos mais usados, mas também aqueles potencialmente capazes de levar a mudanças

profundas – o que poderá abrir espaço para novas visões no campo científico, através de uma ruptura epistemológica.

Os fatos destacados envolvem fragmentos de diferentes épocas com vistas a nos ajudar a entender melhor o atual momento científico. As rupturas permitem o surgimento do ‘novo’ e constituem momentos históricos relevantes, pois mostram como foi possível a expansão de determinados temas ou áreas que levaram às inovações atualmente experimentadas.

As explosões de um determinado assunto mostram momentos históricos em que vários pesquisadores passaram a se interessar por um determinado tema, aumentando a produção científica nessa área. À medida que ocorre a multiplicação desses trabalhos, aprofunda-se o tema, o que leva a descobertas científicas com novas possibilidades a seguir. É necessário, portanto, o acompanhamento dessa evolução científica com amplos debates que visem discutir os possíveis efeitos da ciência, sobre o ambiente como um todo, que podem ser múltiplos e imprevisíveis.

Em relação às tabelas, podemos observar que temas relacionados ao emprego da nanotecnologia na biologia e na saúde (Tabela 3) só surgem de forma relevante a partir de 2006. A Tabela 1, além das palavras das áreas acima mencionadas, traz temas relacionados a outras áreas, em especial a física e a química, desde 1986, o que em nosso entendimento, também desempenha papel de grande relevância na história da nanotecnologia, devido a seu caráter multidisciplinar.

Podemos considerar que um dos fatores essenciais para o desenvolvimento da nanotecnologia foi a criação, em 1981, do microscópio de tunelamento (*scanning tunneling microscope* – STM) por Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (1982), do laboratório da IBM em Zurique. Apesar de ter sido criado no início da década de 1980, a Tabela 1 indica que trabalhos com essa palavra-chave só aparecem de forma significativa a partir de 1991. O STM deu origem a outros instrumentos de visualização e manipulação na escala atômica, coletivamente denominados microssondas eletrônicas de varredura (*scanning probe microscopes* – SPM). Além da visualização nanométrica de uma superfície, os SPM permitem manipular átomos e moléculas, que podem ser arrastados de um ponto e depositados em outro previamente selecionado. Em relação a esse tema, podemos também observar na Tabela 1 que ocorreram rupturas de 1991 a 2000, período em que também foram observadas explosões provavelmente em função da necessidade do uso desse aparelho no avanço das pesquisas na área da nanotecnologia.

Outros achados de grande relevância observados nessa área foram as descobertas das nanopartículas. A partir da síntese dessas formas de carbono, prata, grafite, por exemplo, surgiram inúmeras pesquisas na área das nanociências. A Tabela 1, de 1996 a 2000, revela uma explosão de trabalhos sobre nanotubos de carbono e, de 2006 a 2010, uma ruptura de temas relacionados a essas nanopartículas. As explosões observadas nas áreas biológicas e da saúde (Tabela 3) relacionam-se diretamente a essas descobertas físicas e químicas, por serem marcos fundamentais nas pesquisas dessas duas áreas, uma vez que essas estruturas têm participação direta na produção de aparatos nanotecnológicos.

As descobertas supramencionadas (Tabela 3) levaram ao que podemos observar em 2006: uma ruptura, surgindo trabalhos sobre nanomedicina e câncer. Não foi detectada explosão de nenhum tema, o que pode ser explicado pelo fato de as publicações relacionadas à

nanotecnologia, biologia e saúde estarem apenas despontando. Uma das áreas que apresentara rápido crescimento a partir dessa data foi a nanomedicina, principalmente no tratamento do câncer e de doenças coronarianas. Entre os fatores que muito contribuíram para isso estão as pesquisas nas áreas da física e da química, que permitiram o desenvolvimento de nanomateriais com os quais foi possível construir sistemas *drug-delivery*. Pesquisas testadas tanto *in vitro* quanto *in vivo*, palavras-chave que aparecem de 2007 a 2010 (Tabela 3).

Atualmente dispositivos de dimensões nanométricas já estão aprovados para uso clínico, e numerosos produtos encontram-se em fase de avaliação. Diversos autores defendem o uso dessa tecnologia na medicina: segundo Roszek, Jong, Geertsma (2005) os nanoporus, construídos com óxido de alumínio e hidroxapatita, podem ser usados para a próxima geração de *stents* coronarianos e também para transportar drogas a células-alvo. Nessa perspectiva, Horcajada et al. (2006) mencionam que matrizes porosas como metal carboxilato atuam na condição de sistemas de *drug-delivery* usando ibuprofeno como substrato modelo, podendo incorporar grande quantidade de droga.

A Tabela 3 mostra que em 2007 e 2008 ocorreu aumento significativo do número de trabalhos relacionados a biologia, com várias palavras-chave aparecendo como ruptura, referentes, em sua quase totalidade, à área da saúde. Em relação a nanomedicina, observa-se uma ruptura em 2006, o que provavelmente levou ao perfil do ano seguinte, pois as palavras-chave detêm relação direta com as pesquisas voltadas para o tratamento de doenças.

Após todas essas rupturas observadas de 2006 a 2008, podemos constatar que a primeira explosão se dá em 2009, portanto as novas descobertas que ocorreram nesse período levaram a um grande aumento nas pesquisas que lidam com essas palavras-chave, entre as quais destaca-se a de Melo et al. (2010). Esses autores destacam a utilização de sistemas de *drug-delivery* formados por nanopartículas poliméricas, constituindo as nanocápsulas e nanoesferas, que diferem entre si segundo a composição e a organização estrutural, mas ambas com amplas aplicações. Esses mesmos autores mencionam ainda a utilização de nanocápsulas de polímero biodegradável contendo benzocáína. Esse sistema de liberação modificada da droga, quando testada *in vitro*, reduz a toxicidade e aumenta a duração do efeito anestésico. Uma terapia experimental é relatada por Heath, Daves e Hood (2009), que demonstram a tendência natural de as nanopartículas se acumularem em tumores. Através de testes clínicos foi possível chegar a uma dosagem ideal da droga, que permitiu ótimos resultados sem os efeitos típicos da quimioterapia.

Frente a isso, podemos considerar que o maior potencial de aplicação da nanotecnologia na medicina se refere aos sistemas de carregamento e liberação de drogas (fármacos e vacinas) para melhorar sua eficácia terapêutica. Isso se dá em função de que o encapsulamento de um fármaco em nanosistemas pode ajudar a direcioná-lo a um sistema ou células-alvo (Bergmann, 2008).

Em 2010 temos como ruptura e explosão a palavra-chave lipossomas, também relacionada ao carregamento de substâncias a células-alvo. Os lipossomas são pequenas vesículas esféricas formadas por bicamadas concêntricas de fosfolipídios que se organizam espontaneamente em meio aquoso. Tais partículas são consideradas excelente forma de sistema de liberação controlada de medicamentos ou substâncias biologicamente ativas devido a sua flexibilidade estrutural seja no tamanho, na composição e na fluidez da bicamada lipídica, seja em sua

capacidade de incorporar uma variedade de compostos tanto hidrofílicos como hidrofóbicos. Essas estruturas, segundo Benghan, Standish e Watkins (1965), foram mencionadas pela primeira vez na década de 1960. Posteriormente, surgiu o termo lipossoma, 'corpo gorduroso', para designar as estruturas vesiculares formadas por bicamadas fosfolipídicas com um compartimento aquoso em seu interior (Weissmann et al., 1968).

Ainda em relação aos transportadores de drogas, Chang (1964) relata que as primeiras tentativas para a obtenção de um sistema eficaz tiveram como base o encapsulamento das biomoléculas a transportar em vesículas de náilon e outros polímeros sintéticos. Essa abordagem, contudo, mostrou-se totalmente inadequada, posto que essas vesículas de material artificial se acumulam no organismo. Apesar de não ter tido sucesso em sua aplicabilidade, essa técnica abriu portas para outras pesquisas nessa linha, tendo os testes se intensificado só a partir de meados de 1980, obtendo resultados positivos na aplicabilidade dos lipossomos.

O auge de trabalhos sobre lipossomos, porém, só ocorre em 2010, com ampla utilização na indústria cosmética, que os emprega em produtos para prevenção da queda de cabelos, promoção do crescimento capilar, desaceleração do processo de envelhecimento da pele, clareamento da pigmentação cutânea e prevenção e tratamento da lipodistrofia ginoide (vulgarmente conhecida como celulite).

Com essa ampla utilização da nanotecnologia nas áreas biológicas e da saúde, é natural que comecem a surgir trabalhos relacionados à nanotoxicologia. Publicações sobre esse tema aparecem na Tabela 3 como ruptura em 2007 e 2010 e como explosão de 2007 a 2010, aparecendo, neste último ano, como citotoxicidade, o que já era esperado em função das explosões observadas na área da saúde. Testes citotxicológicos *in vivo* se fazem necessários para avaliar os possíveis danos que novos produtos e terapias possam vir a causar nos tecidos vivos. Emerge assim a nanotoxicologia que, segundo pesquisadores (Oberdörster, Oberdörster e Oberdörster, 2005; Fischer, Chan, 2007), tem como objetivos avaliar os riscos associados à exposição a nanomateriais, explorar as vias de entrada de nanopartículas no organismo e estudar os mecanismos moleculares de toxicidade das nanopartículas.

Para aplicações *in vivo* é importante considerar a insolubilidade de nanotubos de carbono em água. Segundo Reilly (2007) e Zhou et al. (2008), essa propriedade pode ser responsável por sua toxicidade contra células vivas. Então, a incorporação de nanotubos de carbono em sistemas vivos torna-se preocupante porque esse tipo de nanomaterial se poderia acumular em células, órgãos e tecidos com efeitos colaterais desconhecidos.

Dessa forma, em aplicações *in vivo* faz-se necessário avaliar as potencialidades das nanopartículas, sendo sua toxicidade um dos mais importantes fatores a considerar. Poucos estudos avaliam os riscos de exposição a esses materiais, e os resultados têm sido inconclusivos.

Frente a isso, Sanvicens e Marco (2008) sugerem que as nanopartículas afetam o comportamento biológico nos níveis celular, subcelular, proteico e genético. Rattner (2004) menciona que nanopartículas 'livres', que penetram o corpo humano, podem sedimentar-se em alguns órgãos. A entrada se faz principalmente via aparelhos digestório e respiratório ou pela derme. Uma vez no organismo, as nanopartículas (NPs) se deslocam por órgãos e tecidos distantes do ponto de entrada e podem transpor as barreiras da circulação do sangue, entrar no cérebro e criar riscos para a saúde. Nesse caso, cabe citar como exemplo os vapores de polímeros que causam danos aos pulmões.

Em contrapartida, Voura et al. (2004) e Akerman et al. (2002) indicam que as nanopartículas são materiais biologicamente inertes e, portanto, adequados para aplicações *in vivo*. Em apoio a essa hipótese, vários estudos têm demonstrado que as nanopartículas injetadas em animais vivos não produzem efeitos tóxicos detectáveis.

Considerações finais

A partir dessa pesquisa foi possível detectar quais fatos históricos do passado foram importantes para o avanço das nanociências e da nanotecnologia. Na contramão de uma história tradicional, a pesquisa pretendeu investigar os atravessamentos de diferentes áreas, como da saúde e da biologia, para entender quando surgiu a nanotecnologia de forma significativa nesses dois campos do saber. Sendo assim, Foucault levou-nos a pensar sobre as possibilidades de a nanociência constituir-se em algo significativo para a ciência na atualidade.

Através da utilização do programa Citespace, foi possível realizar a revisão bibliográfica a partir de um grande número de artigos indexados na base de dados Web of Science. Para isso, optamos por uma análise de cunho quantitativo, uma vez que são inter-relacionadas por esse programa as palavras-chave utilizadas pelos autores. Nesse momento do estudo, limitamos a selecionar esse método, devido à grande quantidade de trabalhos existentes na área.

Com o uso das ferramentas aqui apresentadas, podemos considerar que trabalhos na área das nanociências e da nanotecnologia surgiram de forma significativa a partir da década de 1980, embora só sejam observadas explosões e rupturas de 1991 em diante. Momentos históricos percebidos na evolução dessa ciência foram demarcados pela física e pela química, áreas precursoras nas grandes descobertas.

Dentre essas descobertas científicas cabe destacar: o microscópio de tunelamento eletrônico e nanopartículas de carbono, apresentando alto índice de explosões e rupturas a partir de 1991. Esses achados podem ser considerados marcos históricos importantes para entendermos a história atual dessa ciência, pois sem eles possivelmente a nanotecnologia não teria dado o grande salto, atingindo vasto público através de novos materiais disponíveis no mercado que a utilizam.

Quanto ao emprego da nanotecnologia nas áreas biológicas e da saúde, podemos observar explosões e rupturas de palavras-chave relacionadas a essas áreas a partir de 2006. Os trabalhos referentes à medicina mencionam principalmente as diversas aplicações de nanomateriais e nanodispositivos para fins diagnósticos e terapêuticos. A área biológica caminha junto no sentido de dar suporte quanto à aplicabilidade dessas novas tecnologias, mostrando seus possíveis riscos e benefícios, através das pesquisas *in vitro* e *in vivo* e dos estudos nanotoxicológicos.

Das áreas envolvidas, podemos considerar que é na nanomedicina que existem as maiores preocupações toxicológicas e éticas, o que se justifica plenamente devido ao campo de aplicação desses produtos. Um dos grandes desafios a ser enfrentado é a busca do conhecimento sobre os biomateriais nanoestruturados e seus efeitos.

As palavras-chave da base de dados Web of Science (Tabela 1) coincidem com as palavras-chave elencadas a partir das reportagens publicadas nas revistas *Veja* e *Scientific American* (Tabela 2). Podemos, assim, considerar que está ocorrendo a disseminação de conhecimentos

científicos na comunidade, de forma significativa, através dos artefatos culturais. Isso possibilita a aproximação do público com esses conhecimentos e ainda o auxilia a compreender diversos aspectos do mundo que o cerca.

Para chegar à realidade apresentada neste trabalho, resgatamos alguns fragmentos da história que, em nossa visão, foram marcos importantes para o desenvolvimento das nanociências. Esses fragmentos levantados não esgotam a história atual das nanociências, mas mostram que há um empenho em permitir os desdobramentos dessa ciência, ressaltando sempre os dois lados da utilização dessas novas tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABDI.
Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Cartilha sobre nanotecnologia*. Campinas: Unicamp/Funcamp. 2010.
- AKERMAN, Maria E. et al.
Nanocrystal targeting in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Washington, v.99, n.20, p.12617-12621. 2002.
- ALMEIDA, Paulo Roberto.
O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. *Jornal da Ciência*, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detailhe.jsp?id=31314>. Acesso em: 20 jan. 2012. set. 2005.
- BAUMAN, Zygmunt.
Vidas desperdiçadas. Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 2005.
- BENGHAN, Alec; STANDISH, Malcolm M.; WATKINS, Jeff. C.
Diffusion of univalent ions across the lamellae of swollen phospholipids. *Journal of Molecular Biology*, Cambridge, v.13, n.1, p.238-252. 1965.
- BERGMANN, Bartira.
A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.60, n.2. 2008. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252008000200024&script=sci_arttext. Acesso em: 22 jun. 2010. 2008.
- BINNING, Gerd; ROHRER, Heinrich.
Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Physical Review Letters*, Washington, v.49, n.1, p.57-61, 1982.
- BURT, Ronald.
Estructural holes: the social structure of competition. Cambridge: Harvard University Press. 1992.
- CHANG, Thomas M. S.
Semipermeable microcapsules. *Science*, New York, v.146, n.3643, p.524-525. 1964.
- CHEN, Chaomei.
CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. Philadelphia: College of Information Science and Technology, Drexel University. 2005.
- DREXLER, Eric.
Engines of creation: the coming era of nanotechnology. Toronto: Anchor Books. 1986.
- DURÁN, Nelson et al.
Mechanistic aspects of biosynthesis of silver nanoparticles by several *Fusarium oxysporum* strains. *Journal of Nanobiotechnology*, London, v.3, n.8. 2005.
- FEYNMAN, Richard.
There's plenty of room at the bottom. Pasadena: California Institute of Technology. Disponível em: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman/html>. Acesso em: 12 nov. 2010. 1960.
- FISCHER, Hans; CHAN, Warren.
Nanotoxicity: the growing need for in vivo study. *Current Opinion in Biotechnology*, Toronto, v.18, n.6, p.565-571. 2007.
- FOUCAULT, Michel.
A arqueologia do saber. Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2002.
- HEATH, James; DAVES, Mark; HOOD, Leroy.
Nanomedicina no tratamento do câncer. *Scientific American Brasil*, São Paulo, n.82, p.42-49. 2009.
- HORCAJADA, Patrícia et al.
Metal-organic frameworks as efficient materials for drug delivery. *Angewandte Chemie*, Weinheim, v.45, n.36, p.5974-5978. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.200601878/abstract>. Acesso em: 28 fev. 2011. 2006.
- IJJIMA, Sumio.
Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, Houston, v.354, p.56-58. 1991.
- KROTO, Harold et al. C-60- buckminsterfullerene. *Nature*, Houston, v.318, n.6042, p.162-163. 1985.

LI, Yan; GALLI, Giulia; GYGI, François. Electronic Structure of Thiolate-Covered Gold Nanoparticles: Au102(MBA)44. *ACS Nano*, Washington, v.2, n.9, p.1896-1902. 2008.

MARTINS, Paulo Roberto; BRAGA, Ruy. Nanotecnologia: promessas e dilemas da revolução invisível. Disponível em: <http://www.iiep.org.br/pdfs/doc022.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2010. 2007.

MELO, Nathalie F.S. et al. Desenvolvimento e caracterização de nanocápsulas de poli (L-lactídeo) contendo benzocaína. *Química Nova*, São Paulo, v.33, n.1. 2010.

NALLI, Marcos. O minúsculo universo das nanotecnologias. *Leituras da História*, ed.48. Disponível em: <http://leiturasdahistoria.uol.com.br/ESLH/Edicoes/12/artigo100808-2.asp>. Acesso em: 26 fev. 2012. 2012.

OBERDÖRSTER, Gunter; OBERDÖRSTER, Eva; OBERDÖRSTER Jan. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives*, New York, v.113, n.7, p.823-839. 2005.

RATTNER, Henrique. Nanotecnologia: para melhor ou para pior? *Revista Espaço Acadêmico*, Maringá, n.41. Disponível em: <http://www.espacoacademico.com.br/041/41rattner.htm>. Acesso em: 28 out. 2010. out. 2004.

REILLY, Raymond. Carbon nanotubes: potential benefits and risks of nanotechnology in nuclear medicine.

The Journal of Nuclear Medicine, Toronto, v.48, n.7, p.1039-1042. 2007.

ROSZEK, Boris; JONG, Wim H. de; GEERTSMA, Robert E. Nanotechnology in medical applications: state-of-the-art in materials and devices. In: RIVM Report 265001001. Bilthoven: RIVM. 2005. Disponível em <http://rivm.openrepository.com/rivm/bitstream/10029/7265/1/265001001.pdf>. Acesso em: 15 maio 2010. 2005.

SANTUCCI, Jô. Nanotecnologia: a revolução invisível. *Conselho em Revista*, Porto Alegre, ano 4, n.48, p.13-16. 2008.

SANVICENS, Nuria; MARCO, Pilar. Multifunctional nanoparticles: properties and prospects for their use in human medicine. *Trends in Biotechnology*, Barcelona, v.26, n.8, p.425-433. 2008.

VOURA, Evelyn B. et al. Tracking metastatic tumor cell extravasation with quantum dot nanocrystals and fluorescence emission-scanning microscopy. *Nature Medicine*, Washington, v.10, n.9, p.993-998. 2004.

WEISSMANN, Gerald et al. Phospholipid spherules (liposomes) as a model biological membranes. *Journal of Lipid Research*, Memphis, v.9, n.3, p.310-318. 1968.

ZHOU, Hongyu et al. A nano-combinatorial library strategy for the discovery of nanotubes with reduced protein-binding, cytotoxicity, and immune response. *Nano Letters*, Washington, v.8, n.3, p.859-865. 2008.

