

ESTUDO PROSPECTIVO DOS PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE NANOMATERIAIS¹

Douglas Henrique Milanez²
André Luís Castelo Branco Leite³
Felipe Scopel³
Leandro Innocentini Lopes de Faria⁴
José Ângelo Rodrigues Gregolin⁵

Resumo

As perspectivas de comercialização de produtos e processos baseados em nanotecnologia têm causado o aumento de mundial de depósitos de patentes. Neste contexto, há barreiras e desafios associados aos processos de obtenção de nanomateriais, tais como, o aumento da escala de produção e o controle de qualidade. O objetivo deste trabalho foi identificar tendências de desenvolvimento tecnológico dos principais métodos de obtenção de nanomateriais, a partir de indicadores obtidos em documentos de patentes. Para tanto, foram analisados registros bibliográficos de documentos de patentes em nanotecnologia, com foco em dois métodos que se destacaram: métodos de obtenção de pó metálico e via química coloidal. Foram avaliados os países e titulares proeminentes, além do estágio e da tendência de maturação tecnológica mediante extrapolação de dados. Em ambos os métodos, destacaram-se os países de origem asiática, EUA e União Europeia e empresas oriundas desses países. A extrapolação de dados indicou que a maturação tecnológica para métodos de obtenção de pó metálico e via química coloidal deverá ocorrer, respectivamente, entre 2030-2040 e 2050-2060. Em ambos os casos, os resultados sugerem que as tecnologias se encontram em um estágio inicial de desenvolvimento.

Palavras-chave: Nanotecnologia; Análise de patente; Bibliometria; Indicadores de ciência e tecnologia.

TECHNOLOGICAL FORECASTING FOR MANUFACTURING PROCESSES OF NANOMATERIALS

Abstract

The commercialization perspective of products and process based on nanotechnology has increased the worldwide applications of patents. In this context, there are challenges and barriers related to processes for obtaining nanomaterials, such as increasing the production scale and quality control. The aim of this paper was to identify technological development trends for the main methods to obtain nanomaterials using patent indicators. It was analyzed the bibliographic data from patent documents in nanotechnology focusing on two highlighted methods: making metallic powder and colloidal chemistry. It was obtained the main countries, applicants, and the maturation trend using growth curves. Countries from Asian, European Union and the USA and companies them stood out. The growth curves suggested that the maturation period of methods for making metallic powder may occur between 2030 and 2040 and for colloidal chemistry between 2050 and 2060. In both cases, the findings suggest the technologies are at an early stage of development.

Key words: Nanotechnology; Patent analysis; Bibliometry; Science and technology indicators.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM – Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduação em Eng. de Materiais, Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), SP, Brasil.

³ Graduação em Engenharia de Materiais, Mestrando do PPGCEM, UFSCar, SP, Brasil.

⁴ Graduação em Engenharia de Materiais, Prof. do Depto de Ciência da Informação e do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PPGCTS), UFSCar, SP, Brasil.

⁵ Graduação em Engenharia de Materiais, Prof. do Depto de Engenharia de Materiais, do PPGCEM e do PPGCTS, UFSCar, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o rápido desenvolvimento da nanotecnologia tem propiciado novas aplicações em produtos e processos, principalmente nos setores eletrônico, químico e de materiais. As propriedades diferenciadas dos nanomateriais têm sido pouco exploradas e a nanotecnologia é considerada um dos motores que irão impulsionar o desenvolvimento e inovação tecnológica do século XXI.⁽¹⁻⁵⁾ Embora haja discussão sobre a correta definição da nanotecnologia,⁽³⁾ no escopo do presente trabalho, ela pode ser definida como o entendimento, o controle, o processamento e a caracterização da matéria em dimensões típicas de 0,1 nm a 100 nm.⁽⁶⁾ Por sua vez, os nanomateriais se caracterizam por apresentar estruturas engenhiradas à escala nanométrica, e um comportamento químico, físico, mecânico e/ou biológico diferenciado ou totalmente novo e não observado nas estruturas macro ou micrométricas convencionais.⁽⁷⁾

Programas governamentais e iniciativas empresariais de diversos países, incluindo o Brasil, têm fomentado a pesquisa e o desenvolvimento de nanotecnologias visando à competitividade num mercado global estimado em 1,5 trilhões de dólares para 2015.^(1,2) Em 2005, por exemplo, o gasto público mundial no tema foi de 4,5 bilhões de dólares, alavancados principalmente pelo Japão, EUA e União Europeia.⁽⁴⁾ Para 2012, somente o orçamento de pesquisa do governo americano no programa National Nanotechnology Initiative (NNI), um dos mais importantes do mundo, foi de 2,1 bilhões de dólares, dos quais 21,3% destinados aos nanomateriais, sem considerar o montante investido pela iniciativa privada⁽⁵⁾. No Brasil, estima-se que entre 2000 e 2007 o setor público e o privado tenham investido conjuntamente 320 milhões de reais, um valor muito baixo em relação ao orçamento de outros países direcionado para essa área.⁽¹⁾

Diante das perspectivas promissoras da nanotecnologia, o patenteamento nessa área tem-se mostrado dinâmico e associado a vários contextos tecnológicos, em especial na obtenção de nanomateriais.^(3,8,9) Há uma grande diversidade de rotas e métodos de obtenção de nanomateriais, como moagem, sol-gel, síntese, pirólise ou eletrodeposição (Tabela 1). Embora cada método possua vantagens e limitações específicas, existem desafios comuns a todos eles, tais como o aumento da escala de produção, o controle de qualidade, a minimização de custos e a regulamentação da segurança do trabalhador e do consumidor.^(3,7)

Com o avanço da nanotecnologia, a realização de estudos de prospecção tecnológica torna-se importante para o acompanhamento do desenvolvimento tecnológico, por exemplo, com base no patenteamento, para dar suporte à tomada de decisão e planejamento na área de nanotecnologia e nanomateriais.^(10,11) Dentre as técnicas prospectivas para o monitoramento tecnológico, destaca-se a elaboração e análise de indicadores obtida a partir de publicações técnico-científicas, principalmente artigos científicos e documentos de patentes.⁽⁸⁻¹¹⁾ O documento de patente é uma fonte de informação importante, por possuir dados públicos em formato padronizado e de natureza técnica, legal e de negócio, muitas vezes não encontrados em nenhuma outra fonte.⁽¹²⁾

Tabela 1. Exemplos de rotas e técnicas de processamento para obtenção de nanomateriais⁽⁷⁾

Tipos de métodos	Exemplo de técnica
Mecânicos	Moagem, deformação e conformação.
Químicos	CVD, síntese, precipitação e sol-gel.
Físicos	PVD, eletrodeposição, pirólise e electrospinning.

Nos estudos prospectivos, muitas vezes procura-se utilizar técnicas estatísticas que permitem extrapolar os dados para anos futuros, e que podem auxiliar a caracterização do estágio de maturidade de um dado assunto tecnológico.^(7,8) Entre outros métodos, destaca-se a curva de extrapolação de Pearl ou curva logística, obtida a partir da Equação 1, conforme procedimento recomendado por Martino.⁽¹⁰⁾

$$y = \frac{L}{1+ae^{-bt}} \quad (1)$$

Na qual, “y” é o número estimado de documentos de patente acumulado até o ano “t”, “L” é o número máximo de documentos de patente que pode ser atingido por “y” em um dado tempo (ou limite de crescimento da variável “y”); o termo “e” corresponde à base natural de logaritmos e os coeficientes “a” e “b” são obtidos pela linearização, pelo método dos mínimos quadrados, do número real de documentos de patentes encontrado em certo período (valor acumulado). A curva de Pearl normalmente apresenta um formato em “S” e é corriqueiramente utilizada em diferentes estudos econômicos, mercadológicos e de prospecção de tecnologias.⁽¹⁰⁾ Adicionalmente, a nanotecnologia é um campo desafiador para estudos prospectivos, uma vez que se trata de uma área complexa, interdisciplinar e com grande amplitude de públicos atuantes na pesquisa e desenvolvimento.⁽¹³⁾

Tendo em vista a importância da nanotecnologia e os desafios para o seu monitoramento e prospecção tecnológica, o objetivo do presente trabalho é identificar e analisar os métodos de obtenção dos nanomateriais mais proeminentes em termos de patenteamento, com a verificação dos principais países e dos titulares, detentores do direito legal sobre as invenções. Pretende-se também avaliar estimativamente o nível de maturidade desses métodos como forma de melhor compreender o recente desenvolvimento e a tendência dessa área tecnológica.

2 METODOLOGIA

Foram elaborados e analisados indicadores tecnológicos baseados nos registros bibliográficos¹ de documentos de patentes indexados na base de dados Derwent Innovations Index (DII)², disponível no Portal de Periódicos Capes.⁽¹⁵⁾ Para aperfeiçoar a recuperação dos registros bibliográficos em nanotecnologia da base DII, empregou-se uma expressão de busca modular, baseada na proposta de Porter et. al.⁽¹⁶⁾ e adaptada para o foco pretendido⁽³⁾. Esse procedimento busca ampliar a recuperação e minimizar o número de registros não conformes com a área da nanotecnologia. O período da busca compreendeu toda a cobertura da base até o ano de 2011, recuperando-se 179.695 registros bibliográficos. Os dados foram tratados e analisados estatisticamente de forma semiautomatizada com auxílio dos softwares Vantagepoint[®] (versão 5.0) e Microsoft Office Excel[®] (versão 2007).

Os principais métodos de obtenção de nanomateriais foram caracterizados a partir da Classificação Internacional de Patentes (CIP)³, disponível eletronicamente em

¹ Os dados bibliográficos mais relevantes dos documentos de patente são a prioridade, o código de Classificação Internacional de Patente (CIP), resumo e detentores do direito sobre a tecnologia (titular), além de outras, que permitem a elaboração e análise de indicadores.^(12,14)

² Dados similares podem ser obtidos em outras bases eletrônicas, como a do INPI (brasileira), a do USPTO (americana) e a do Espacenet (europeia). A base de dados DII mostra-se vantajosa por disponibilizar os dados bibliográficos de mais de 40 escritórios do mundo, dentre os quais o brasileiro, e realiza o conveniente agrupamento das organizações com diferentes unidades, desde que seja ativa no patenteamento mundial. Mais informações podem ser encontradas no site da base.⁽¹⁵⁾

³ A CIP foi criada em 1971 para facilitar o acesso, a gestão dos documentos de patente e a investigação do estado da técnica num exame de patente. Ela divide-se em seções (o nível menos detalhado), classes, subclasses, grupos, subgrupos e classificação completa (o nível mais detalhado). A classificação é aferida e

português para consulta no portal do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).⁽¹⁷⁾ Os códigos foram utilizados em nível de grupo, sendo separados os que mais se aproximavam de métodos de obtenção de nanomateriais⁴.

Para os dois principais métodos identificados (obtenção de pó metálico e via química coloidal), foram caracterizados os principais países e titulares constantes nos documentos de patente, considerando o período de 2000 a 2009⁵. Para determinar os países de origem do documento de patente, foi considerada a primeira prioridade.⁽¹⁸⁾ Adicionalmente, os países da União Europeia foram analisados conjuntamente. Os titulares (pessoas jurídicas ou físicas) foram identificados pelos códigos padronizados disponibilizados pela própria base DII.⁽¹⁵⁾ Para os dez principais titulares, foram obtidos o número total de depósito de patentes realizados em seus respectivos países de origem e o número de depósitos efetuados em outros países.

As rotas de obtenção de nanomateriais foram identificadas pelo detalhamento dos subgrupos dos códigos CIP. O nível de maturação para os dois métodos de obtenção de nanomateriais foi avaliado estimativamente mediante extrapolação de dados do patenteamento ao longo do tempo, utilizando-se a curva de Pearl (Equação 1),⁽¹⁰⁾ considerando-se três limites máximos (L) de crescimento para o patenteamento em cada método.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Patenteamento em Métodos de Obtenção de Nanomateriais em Geral

O patenteamento abrangeu uma grande diversidade de métodos de obtenção de nanomateriais, totalizando 26.086 documentos de patente no período 2000-2009, com destaque para os descritos pelos códigos B22F-009 (métodos de produção de pó metálico) e B01J-013 (métodos baseados em química coloidal) conforme Tabela 2. Esses dois principais grupos de métodos representaram, respectivamente, 8,7% e 5,5% do total. Como um único documento de patente pode possuir mais do que um código de classificação CIP, pode haver a superposição de dois ou mais grupos de métodos envolvidos.

Tabela 2. Principais códigos CIP (nível grupo) e suas respectivas descrições e número de documentos de patentes mais diretamente associados aos métodos de obtenção de nanomateriais no período 2000-2009⁽¹⁷⁾

Códigos CIP e descrição	Patentes	
	Número	%
B22F-009: Produção de pó metálico ou de suspensões do mesmo	2.263	8,7
B01J-013: Química coloidal, por ex., produção de materiais coloidais ou de suas soluções; Fabricação de microcápsulas ou de microbalões.	1.441	5,5
Total geral em métodos de obtenção de nanomateriais	26.086	100

3.2 Patenteamento Relativo a Métodos de Obtenção de Pó Metálico

atribuída a um documento por um examinador especialista no assunto e, por ser utilizada por todos os escritórios do mundo, é amplamente empregada na elaboração de indicadores tecnológicos.^(3,8,9,14)

⁴ Na classificação da CIP, a nanotecnologia é definida pela classe B82, na qual, há um subgrupo associado à fabricação e tratamento de nanoestruturas (subgrupo B82B-003/00). Contudo, não há detalhamento dos métodos, o que torna a classificação B82 demasiadamente genérica para pesquisas prospectivas.⁽¹⁷⁾

⁵ Como as patentes possuem um período de sigilo que normalmente varia conforme a lei de propriedade intelectual de cada país, mas que em geral é de um ano e seis meses,^(12,18) as análises foram limitadas para o período de 2000 a 2009, para evitar a falta de dados e distorções decorrentes em 2010 e 2011.

Os países da Ásia apresentaram um papel preponderante no desenvolvimento de métodos de obtenção de pó metálico em termos de número de pedidos de patente (Figura 1). Também apresentaram elevado crescimento no período avaliado, com exceção do Japão, com destaque para a Rússia, China, Taiwan e Coréia do Sul, cujos crescimentos foram, respectivamente, 100%, 84,5%, 41,5% e 30,7%.

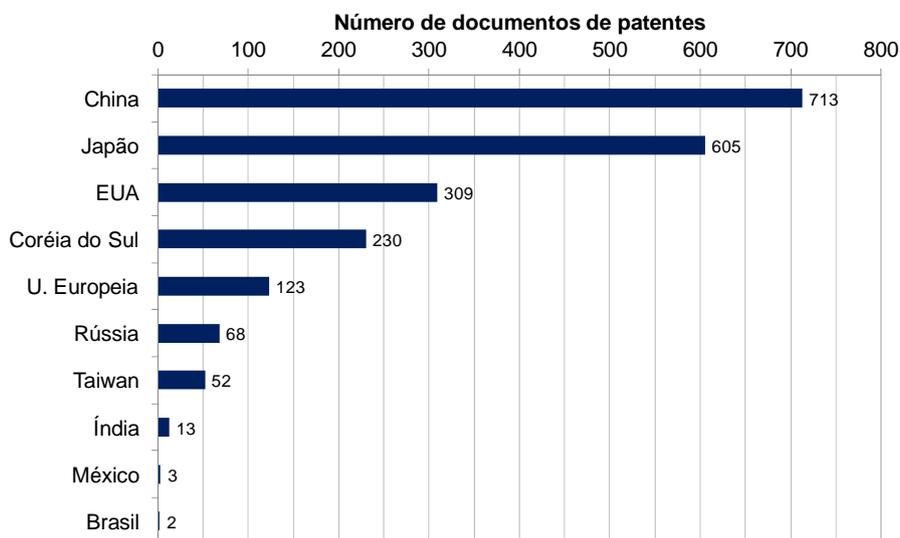
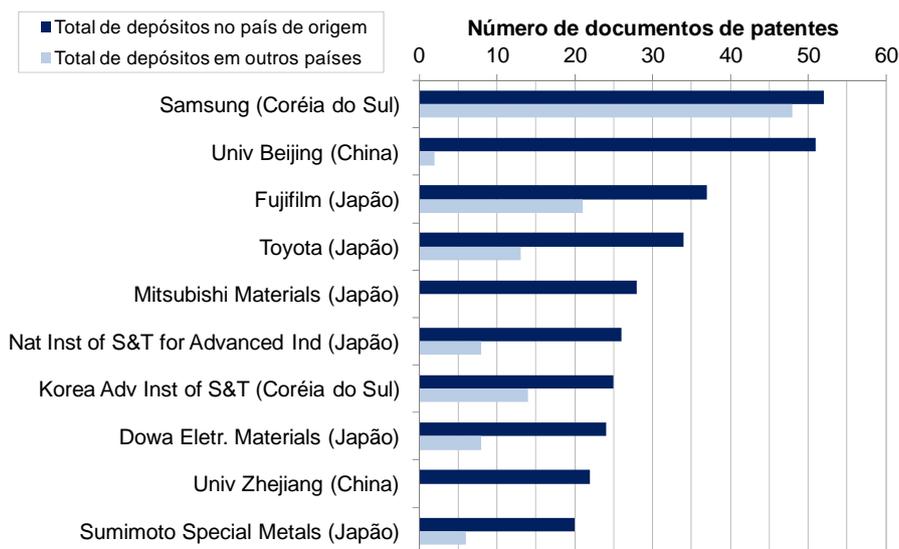


Figura 1. Principais países do conjunto de documentos de patentes associadas a métodos de obtenção de pó metálico no período 2000-2009.

No caso do Japão, dos EUA e da União Europeia, os crescimentos médios anuais foram menores, respectivamente, 28,3%, 21,5% e 15,4%, com tendência de queda no número absoluto de documentos de patente a partir de 2008. Em parte, esse comportamento pode ser reflexo da recente crise econômica mundial ou preferência a outros métodos de obtenção de nanomateriais. Adicionalmente, os demais países, dentre os quais se encontra o Brasil e o México, aparentam ter baixa influência no desenvolvimento tecnológico futuro em métodos de obtenção de pó metálico.

Empresas e instituições de pesquisa de origem asiática são os principais titulares de documentos de patente (Figura 2). Outros autores indicaram que quatro desses principais titulares (Samsung, Fujifilm, Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Indústria Avançada do Japão e Universidade de Beijing) também estão entre os maiores depositantes mundiais em nanotecnologias de um modo geral,⁽³⁾ com papel proeminente para o desenvolvimento de nanotecnologias em seus países.^(8,9)



Fonte: Derwent Innovations Index. Elaborado pelos autores do presente trabalho.

Figura 2. Principais titulares do conjunto de documentos de patentes associadas a métodos de obtenção de pó metálico no período 2000-2009.

A Coréia do Sul caracteriza-se como um país de grande importância no desenvolvimento de nanotecnologias⁽³⁾ e, particularmente, dos métodos de obtenção de pó metálico. A Samsung, que é a maior depositante mundial de patentes em nanotecnologias,⁽³⁾ caracterizou-se por uma estratégia de atuação arrojada no mercado mundial de métodos de obtenção de pó metálico, pois 92,3% do seu total de documentos de patentes tiveram o pedido de proteção estendido a grandes mercados consumidores, principalmente EUA, Japão e China. O interesse da Samsung não se detém em tecnologias em semicondutores e produtos eletrônicos, mas também em produtos de linha branca e de cuidados pessoais, como as nanopartículas de prata aplicadas em recobrimentos, devido à sua ação antimicrobiana.⁽¹⁹⁾

Os titulares de origem japonesa também estenderam parte expressiva de seus depósitos para múltiplos países, exceto a Mitsubishi Materials, que demonstra interesse apenas no seu mercado interno. As universidades da China são os principais titulares desse país e depositaram poucas patentes em outros países. Isso sugere a existência de um sistema de inovação relativamente imaturo em nanotecnologia, quando comparado aos sistemas dos EUA, Coréia do Sul e Japão, conforme também indicado por outros autores,⁽²⁾ apesar do forte investimento chinês em ciência e tecnologia chinês nessa área e da competitividade de suas empresas no mercado mundial.

Dentre as rotas de processamento, há proeminência de métodos químicos, com ênfase na obtenção por precipitação de partículas a partir de soluções de compostos metálicos (Tabela 3). Como um documento de patente pode possuir mais do que um código de classificação CIP, pode haver superposição de dois ou mais métodos de obtenção. Os principais titulares têm forte interesse no patenteamento relativo a este método químico específico, exceto a Sumimoto Special Metals, que concentra documentos de patente em métodos físicos, particularmente em rotas mecânicas.

Em 2009, o número acumulado de documentos de patente associadas às tecnologias de obtenção de pó metálico foi de 2.263, com crescimento médio anual de 32,9% para o período 2000-2009. Este valor é similar aos 34,5% de crescimento apresentado pela nanotecnologia de um modo geral, no período 2000-2008,

conforme verificado por outros autores,⁽⁸⁾ o que indica a importância deste método para a área como um todo. As curvas de extrapolação de Pearl (Figura 3), indicam que a maturidade de tecnologias de obtenção de pó metálico no contexto de nanotecnologia deverá ocorrer entre os anos 2030 e 2040, significando um estágio inicial do desenvolvimento de tais tecnologias. Esse resultado está alinhado com a atual existência de gargalos para processos de fabricação de nanomateriais, como dificuldades para aumento da escala de produção e controle de qualidade.⁽⁶⁾

Tabela 3. Número de documentos de patente atribuído às principais rotas de processamento para obtenção de pó metálico no período 2000-2009⁽¹⁷⁾

Rota de processamento (e respectivos códigos CIP)	Nº patente
Métodos Físicos (de B22F-009/02 até B22F-009/14)	545
- <i>trituração, moagem ou britagem</i> (B22F-009/04)	253
- <i>usando descarga elétrica</i> (B22F-009/14)	142
- <i>atomização, pulverização ou peneiras</i> (de B22-009/06 até B22F-009/10)	136
- <i>usando material no estado gasoso</i> (B22F-009/12)	50
Métodos Químicos (de B22F-009/16 até B22-009/30)	1691
- <i>usando soluções de compostos metálicos</i> (B22F-009/24 e B22F-009/26)	1250
- <i>pela redução de compostos metálicos</i> (de B22F-009/18 até B22F-009/22)	282
- <i>por decomposição de compostos metálicos</i> (B22F-009/30)	159

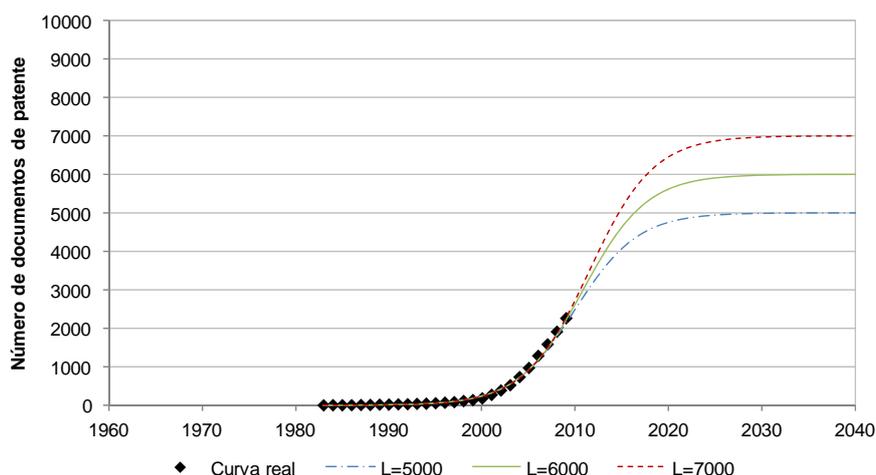


Figura 3. Curvas de Pearl ou extrapolação para métodos de obtenção de pó metálico mediante diferentes valores máximo de documentos de patentes.

3.3 Patenteamento Relativo à Química Coloidal

Os países da União Europeia, em especial Alemanha e França, e os EUA, se mostraram os mais proeminentes no patenteamento de métodos de obtenção de nanomateriais baseados em química coloidal, no período analisado de 2000 a 2009 (Figura 4). Entretanto, o crescimento médio do número de documentos de patente da União Europeia e dos EUA foi, respectivamente, 4,4% e 4,6% ao ano, com tendência de estagnação nos últimos anos da análise, o que pode estar associado à recente crise global ou interesses em outros métodos de obtenção de nanomateriais. China, Coréia do Sul e Japão também se mostraram expressivos no patenteamento de métodos baseados em química coloidal, com crescimento médio anual no número de documentos de patente, respectivamente, de 83,6%, 40,0% e 13,1%, o que indica a perspectiva de terem um papel cada vez mais importante no desenvolvimento destes métodos.

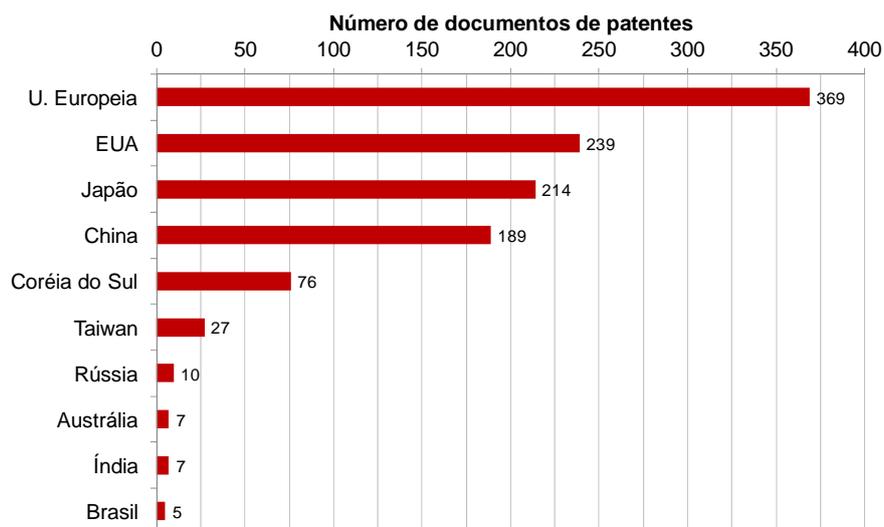


Figura 4. Principais países do conjunto de documentos de patentes associadas a método de obtenção de nanomateriais via química coloidal no período 2000-2009.

Entre os dez titulares mais proeminentes no patenteamento relativo à química coloidal, encontram-se quatro instituições de pesquisa (Centro Nacional de Pesquisa Científica e Comissão de Energia Atômica e Alternativa, ambos da França, Instituto de Pesquisa Fraunhofer da Alemanha e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Indústria Avançada do Japão) e duas universidades (Universidade de Zhejiang e Universidade da Califórnia). Este resultado sugere um estágio mais emergente do desenvolvimento de tais métodos, quando comparado com os métodos relativos ao pó metálico.

Verifica-se que grande parte dos pedidos de patente dos titulares foi estendida a outros países, com exceção da Universidade de Zhejiang, do Instituto de Pesquisa Fraunhofer e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Indústria Avançada que estenderam apenas uma pequena parcela de seus pedidos. Pelo menos em parte, esses resultados sugerem a força dos sistemas de inovação de países como França, Japão, Alemanha e EUA nesses métodos de obtenção de nanomateriais, quando comparada com a de outros países.

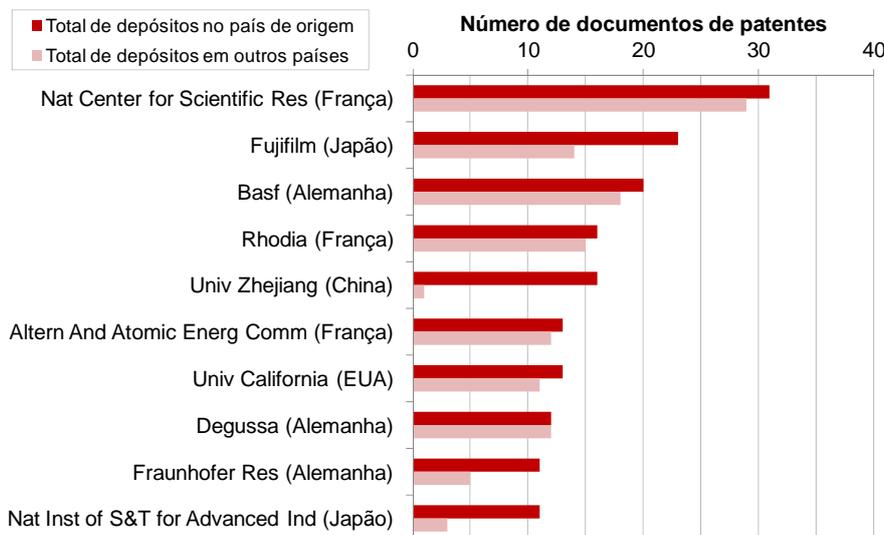


Figura 5. Principais titulares do conjunto de documentos de patentes associados a método de obtenção de nanomateriais via química coloidal no período 2000-2009.

As principais rotas de processamento em química coloidal exploradas nos documentos de patente envolvem métodos físicos ou separação de fase, em especial, polimerização e reticulação (Tabela 4). Não foi verificada preferência entre os principais titulares por alguma destas rotas.

Tabela 4. Principais rotas de processamento associadas à química coloidal presente nos documentos de patentes mundiais, de 2000 a 2009⁽¹⁷⁾

Rota de processamento (e respectivos códigos CIP)	Nº patente
Métodos físicos (<i>secagem, pulverização etc.</i>) (B01J-013/04)	181
Separação de fase (de B01J-013/06 até B01J-014/18)	201
- Polimerização ou reticulação (de B01J-013/14 até B01J-013/18)	139
- Coacervação simples ou complexa (de B01J-013/08 até B01J-013/12)	52
Pós-tratamento (B01J-013/20)	72
- Revestimento (B01J-013/22)	46

O crescimento médio anual dos depósitos de patente para métodos de obtenção de nanomateriais via química coloidal no período de 2000 a 2009 foi de 14,4%, bem inferior ao crescimento de 32,8% relativo aos métodos de obtenção de pó metálico, e de 34,5%, relativo à nanotecnologia em geral, neste último caso no período 2000-2008 conforme verificado por outros autores.⁽⁸⁾ A extrapolação do patenteamento a partir das curvas de Pearl, apresentada na Figura 6, sugere uma tendência de maturidade dos métodos de obtenção de nanomateriais envolvendo química coloidal entre 2050 e 2060. Esse método pode estar em um estágio atual de desenvolvimento mais embrionário do que o dos métodos de obtenção de pó metálico, o que também é indicado pela existência de maior número de instituições de ciência e tecnologia, conforme verificado comparativamente nas Figuras 2 e 5.

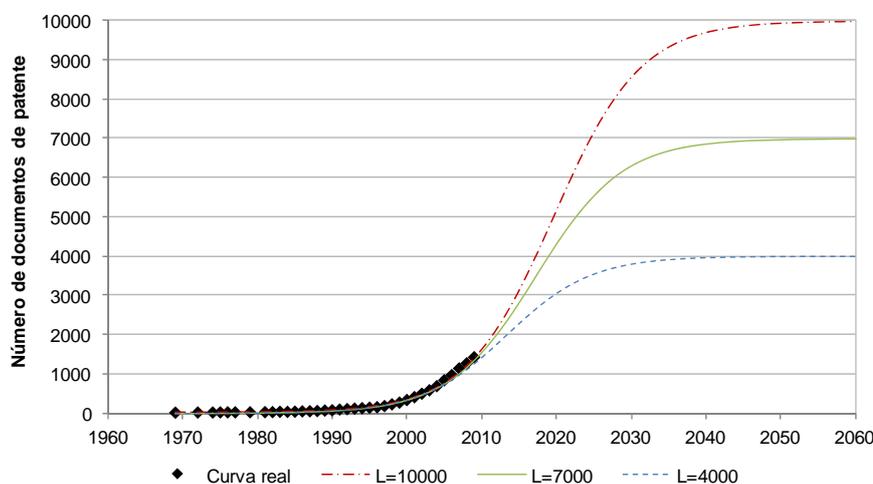


Figura 6. Curvas de Pearl para métodos de obtenção de nanomateriais via química coloidal para valores máximo de documentos de patentes.

4 CONCLUSÃO

A grande amplitude da pesquisa e desenvolvimento em nanotecnologia se reflete na existência de uma diversidade de métodos de obtenção de nanomateriais. Entre eles, verificou-se proeminência dos métodos de obtenção de pó metálico (principalmente via soluções de compostos metálicos) e os baseados em química coloidal (principalmente por polimerização ou reticulação), nos pedidos de patente

mundial ocorrido no período 2000-2009. Ambos os métodos de obtenção de nanomateriais provavelmente encontram-se em um estágio de maturidade de desenvolvimento ainda inicial, pois há expressiva presença de instituições de ciência e tecnologia entre os titulares e longo tempo até a maturidade tecnológica desses métodos (estimado para a década de 2020 a 2030 para métodos de obtenção de pó metálico e de 2050 a 2060 para métodos via química coloidal), conforme indicado pelas extrapolações do patenteamento realizadas com emprego da curva de Pearl.

Os principais países de origem dos detentores de patentes em métodos de obtenção de pó metálico foram Japão, EUA, Coréia do Sul e União Europeia. No contexto de pedidos de patentes em métodos via química coloidal, destacou-se a União Europeia (principalmente Alemanha e França) EUA, Japão e China. Também foi expressiva a extensão da proteção dos pedidos para outros países por parte dos titulares dos documentos de patente destes países destacados, exceto da China. O exemplo mais importante foi à empresa coreana Samsung, que depositou 92,3% de suas patentes em métodos de obtenção de pós-metálico em outros países, além de ser a líder do patenteamento mundial em nanotecnologia.

De forma geral, os países asiáticos, em especial a China, Taiwan, Coréia do Sul e Rússia destacaram-se nos resultados, com altas taxas de crescimento de seus respectivos depósitos de patentes anuais. Por outro lado, embora países como EUA, Japão e da União Europeia tenham grandes quantidades de documentos patentes, o crescimento do número de depósito foi baixo, principalmente a partir de 2008. Possivelmente isso pode ser consequência da recente crise mundial ou interesse em outros métodos de obtenção de nanomateriais.

Por fim, os resultados mostraram que o uso de documentos de patente como fonte de informação pode contribuir significativamente para a realização de estudos prospectivos e monitoramento dos avanços tecnológicos. Como a área de nanotecnologia é dinâmica e emergente, aconselha-se que estudos como este sejam feitos periodicamente, a fim de acompanhar as mudanças nos cenários tecnológicos.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo fomento da bolsa de pesquisa de um dos autores, aos Programas de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e em Ciência, Tecnologia e Sociedade da UFSCar e ao Núcleo de Informação Tecnológica em Materiais pelo apoio na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Nanotecnologia:** Panorama da nanotecnologia no mundo e no brasil. Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Paginas/estudo.aspx?f=Nanotecnologia>>. Acesso em: 02 fev. 2011.
- 2 GALEMBECK, F.; RIPPEL, M. M. Nanotecnologia: estratégias institucionais e de empresas. In: NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA. **Estudos estratégicos:** nanotecnologia. Brasília: NAE, 2006. p. 6-120.
- 3 MILANEZ, D. H. **Nanotecnologia:** indicadores tecnológicos sobre os avanços em materiais a partir da análise de documentos de patentes. 2011. 176f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- 4 ROCO, M. C. **National Nanotechnology Initiative - Past, Present, Future.** 2006.

- Disponível em:
<http://www.nano.gov/NNI_Past_Present_Future.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2012.
- 5 ESTADOS UNIDOS. **The National Nanotechnology Initiative**: research and development leading to a revolution in technology and industry: supplement to the president's FY 2012 budget. Arlington: National Nanotechnology Coordination Office, 2011. Disponível em:
<http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/nni_2012_budget_supplement.pdf?q=NNI_2012_budget_supplement.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2012.
 - 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **TC 229 - Nanotechnologies**. Disponível em:
<http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/other_bodies/iso_technical_committee.htm?commid=381983>. Acesso em: 28 jan. 2011
 - 7 ASSOCIAZIONE ITALIANA PER LA RICERCA INDUSTRIALE; CENTRO ITALIANO PER LE NANOTECNOLOGIE. **Roadmaps at 2015 on nanotechnology application in the sectors of: materials, health & medical systems, energy**. Nanoroadmap Synthesis Report, 2006. Disponível em:
<http://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/nano_reports.php?page=2&cat=General>. Acesso em: 24 fev. 2011.
 - 8 DANG, Y. et al. Trends in worldwide nanotechnology patent applications: 1991 to 2008. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 12, n. 3, p. 687-706, mar. 2010.
 - 9 ALENCAR, M.; PORTER, A.; ANTUNES, A. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 74, n. 9, p. 1661-1680, nov. 2007.
 - 10 MARTINO, J. P. **Technological forecasting for decision making**. New York: Mcgraw-Hill, 1993.
 - 11 PORTER, A. L.; DETAMPEL, M. J. Technology opportunities analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 49, n. 3, p. 237-255, jul. 1995.
 - 12 MOGEE, M. E. Patents and Technology Intelligence. In: ASHTON, W. B.; KLAVANS, R. A. **Keeping abreast of science and technology**: technical intelligence for business. Columbus: Battelle Press, 1997.
 - 13 SALERNO, M.; LANDONI, P.; VERGANTI, R. Designing foresight studies for Nanoscience and Nanotechnology (NST) future developments. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 75, n. 8, p. 1202-1223, oct. 2008.
 - 14 OCDE. **Patent statistics manual**. Paris: OECD, 2009.
 - 15 COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Portal de Periódicos**. Disponível em:
<<http://www2.periodicos.capes.gov.br/portugues/index.jsp?urlorigem=true>>. Acesso em: 08 fev. 2012.
 - 16 PORTER, A. et al. Refining search terms for nanotechnology. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 10, n. 5, p. 715-728, oct. 2007.
 - 17 INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Classificação Internacional de Patentes**. Disponível em: <<http://pesquisa.inpi.gov.br/ipc/index.php>>. Acesso em: 01 fev. 2011.
 - 18 OCDE. **Using patent counts for cross-country comparisons of technology output**. STI Review N^o. 27, 2001. Disponível em:
<http://www.oecd.org/LongAbstract/0,2546,en_2649_34451_21682516_119666_1_1_1,00.html>. Acesso em: 08 fev. 2012.
 - 19 WIKIPEDIA. **Silver nano**. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Silver_Nano>. Acesso em: 13 fev. 2012.