

## **MAPEAMENTO DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS EM NANOMATERIAS A BASE DE CARBONO**

Eixo temático: Indicadores de CT&I

Modalidade: Apresentação oral

### **1 INTRODUÇÃO**

Os nanomateriais, por serem precursores da nanotecnologia, possuem um papel proeminente no contexto de desenvolvimento dessa área, que caracteriza-se por ser complexa, interdisciplinar, emergente e com grande potencial para influenciar a economia, o meio ambiente e a sociedade num futuro próximo (GALEMBECK; RIPPEL, 2006). O esforço mundial em pesquisas tem gerado grandes quantidades de publicações científicas e documentos de patente para o campo da nanotecnologia (PORTER et al., 2007). Dada a importância e emergência da nanotecnologia, diversos estudos bibliométricos tem sido conduzidos para a geração de indicadores que subsidiem o acompanhamento do avanço, planejamentos e tomadas de decisão em pesquisa e desenvolvimento (MILANEZ, 2011).

Entre os diversos nanomateriais promissores e atualmente pesquisados, destacam-se os que se baseiam no carbono, englobando nanotubos de carbono, fulereno e grafeno, que possuem propriedades mecânicas, físicas e químicas únicas e grande potencial de aplicação nos campos da eletrônica, ótica e materiais (GEIM; NOVOSELOV, 2007; LV et al., 2011), com interesse mundial no desenvolvimento (GALEMBECK; RIPPEL, 2006). Estudos bibliométricos voltados especificamente para os mesmos foram conduzidos, por exemplo, para avaliar a tendências de publicação em fulerenos (BRAUN et al., 2000), o patenteamento mundial em fulerenos e em nanotubos de carbono (GUPTA, 1999; GUPTA; PANGANNAYA, 2000) e a análise de citação de documentos de patente em dispositivos de memória randômica construídos com nanotubos de carbono (KUUSI; MEYER, 2007). Recentemente, houve rápida expansão de pesquisas científicas sobre grafeno e de pedidos de patente na área de dispositivos eletrônicos utilizando este nanomaterial (LV et al. 2011).

Embora tais estudos tenham contribuído para o conhecimento dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos desses relevantes nanomateriais, poucos estudos analisam

comparativamente os avanços relativos dos mesmos. Isso pode ser realizado, por exemplo, a partir de funcionalidades de bases de dados, como as oferecidas pela Web of Science (2012), que atualmente permitem elaborar indicadores de tendências gerais, sem a necessidade de abordagens complexas e softwares especializados em análise bibliométrica. Desse modo, o objetivo da presente pesquisa foi elaborar e analisar indicadores bibliométricos a partir de publicações científicas dos nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno, utilizando os recursos disponíveis na base de dados citada, para verificar a evolução e mapear os principais países e instituições que pesquisam estes nanomateriais a base de carbono.

## 2. METODOLOGIA UTILIZADA

Foram elaborados indicadores de publicação científica para nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno, e comparativamente ao universo geral da nanotecnologia, utilizando-se dados de registros bibliográficos indexados no Science Citation Index Expanded (SCIE) do conjunto de bases da Web of Science (2012). Os indicadores foram elaborados utilizando-se a funcionalidade da base para Análise dos Resultados (*Analyze Results*), que permite a elaboração de rankings extraíndo os dados dos seguintes campos: ano de publicação (*Publication Year*), países (*Countries/Territories*) e Instituições (*Institutions*). Também foi empregado o recurso de restrição (*View Records*) para limitar as análises aos cinco principais países e instituições, no período de 2001-2010. Foram elaborados os seguintes indicadores: número de publicação científica acumulada em função do tempo (de 1991 a 2010), principais países e instituições e suas taxas média de crescimento no período 2001-2010.

Os dados de publicação científica foram recuperados utilizando-se as expressões de busca apresentadas pela Tabela 2.1, que também contém o total de publicações científicas encontradas em período distintos. Para comparação, foi realizada uma busca para nanotecnologia adotando-se a estratégia de busca modular proposta por Porter e colaboradores (2007) e adaptada por Milanez (2011), que apresenta vantagens por considerar palavras chave não limitadas ao radical “nano” e periódicos especializados na área. As buscas foram efetuadas no campo “*Topic*” (título, resumo e palavras chave), e limitadas para artigos (*Articles*), cartas (*Letters*), notas (*Notes*) e revisões (*Reviews*), com base em procedimentos internacionais (FAPESP, 2011). Adicionalmente, foram considerados todos os anos de cobertura da base e as buscas e análises foram efetuadas entre 18 e 20 de abril de 2012.

**Tabela 1:** Termos de busca e número de publicações recuperadas para nanomateriais contendo somente carbono, em toda a cobertura da base e de 2001 a 2010.

| Nanomaterial          | Termos da busca                                                       | Total de Publicações Científicas |           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------|
|                       |                                                                       | Todos os anos                    | 2001-2010 |
| Nanotubos de carbono  | ("carbon nanotub*")                                                   | 61.994                           | 46.859    |
| Fulereo               | (fulleren*)                                                           | 27.343                           | 15.248    |
| Grafeno               | (graphene*)                                                           | 16.020                           | 8.375     |
| <b>Nanotecnologia</b> | <i>Expressão de Porter et al (2007) e adaptada por Milanez (2011)</i> | 940.222                          | 616.166   |

Fonte: Science Citation Index Expanded via Web of Science.

A taxa de crescimento ( $T_i$ ) entre anos ( $i$ ) foi calculada com a seguinte equação:

$$T_i = \frac{[N_i - N_{i-1}] \times 100}{N_{i-1}} \quad (1)$$

Na qual,  $N_i$  é o número de publicações científicas no ano “i” e  $N_{i-1}$  é o número de publicações no ano “i-1”. A taxa média de crescimento para o período de 2001 a 2010 foi calculada fazendo-se a média entre as taxas de crescimento calculadas para cada ano utilizando a equação 1.

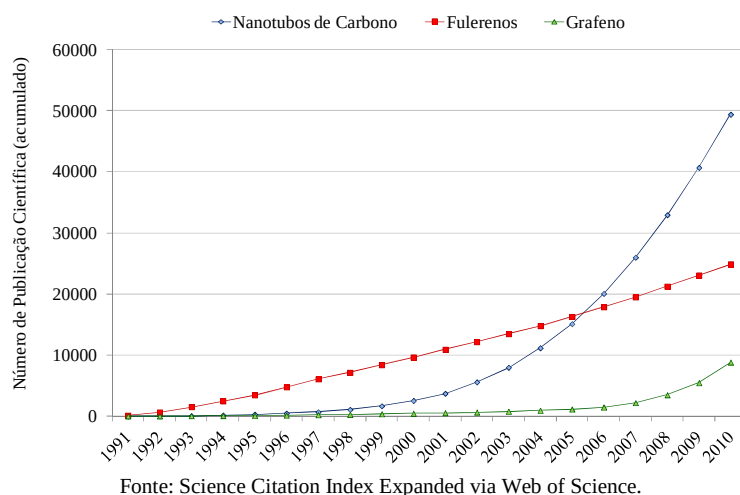
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de publicações científicas em nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno representou 10,6% do total de publicações em nanotecnologia no período 2001-2010 (sendo 65.305 o total de publicações para os três nanomateriais, se excluídos os documentos duplicados ou triplicados). Esse valor pode ser bastante expressivo quando comparado, por exemplo, ao número de publicações em caracterização de nanotecnologias (105.002 publicações), o de maior participação (17%) em todo o universo da nanotecnologia, a partir do resultado obtido empregando-se a expressão de busca de Porter e colaboradores (2007) e adaptada por Milanez (2011).

O número de publicações científicas acumulado em fulerenos tem crescido de maneira linear desde o início da década de 90, enquanto que para os nanotubos de carbono e o grafeno o crescimento se acentuou a partir de 2000 e 2005, respectivamente, conforme Figura 1. Verifica-se também que a taxa média de crescimento das publicações em fulereo foi de 3,6% entre 2001 e 2010, abaixo da calculada para nanotecnologia no mesmo período (13,3%), conforme mostrado na Tabela 2. Esse resultado sugere uma eventual maturação e estagnação

das pesquisas em fulerenos, inclusive com baixas taxas média de crescimento para os principais países que tradicionalmente publicam pesquisas sobre este nanomaterial, como mostra a Tabela 3. Esta tendência corrobora com os resultados obtidos por outros autores em 2000 (BRAUN et al., 2000). Para nanotubos de carbono e grafeno, a taxa média de crescimento das publicações foi de 26,4% e 48,1%, respectivamente, o que sugere grande interesse científico nestes dois últimos nanomateriais no período considerado.

**Figura 1:** Número de publicações acumulado para nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno entre 1991 e 2010.



As taxas médias de crescimento das publicações em nanotubos de carbono foram mais expressivas para a China e Coréia do Sul, do que para os EUA, Japão e Alemanha. Isso pode estar associado, pelo menos em parte, à emergência dos sistemas de Ciência e Tecnologia (C&T) dos países asiáticos e também possivelmente menos afetados pelas recentes crises econômicas. Por outro lado, os países com sistemas de C&T mais consolidados (EUA, Japão e Alemanha) já publicavam expressivamente sobre nanotubos de carbono desde o início dos anos 90 e foram possivelmente mais afetados pelas recentes turbulências econômicas globais.

Com relação às taxas médias de crescimento apresentadas pelos principais países que publicam em fulerenos, elas são consideravelmente inferiores às taxas obtidas para nanotubos de carbono e grafeno, chegando a ser negativa para a Rússia. As publicações científicas em grafeno, por sua vez, têm apresentado altas taxas médias de crescimento no período pesquisado para todos os principais países mais expressivos, com destaque para Alemanha e China. Provavelmente esses altos crescimentos se devem ao fato do grafeno ser um

nanomaterial cuja descoberta é relativamente mais recente, e, embora muito promissor, ainda carece de conhecimento sobre o seu comportamento e de potenciais desenvolvimentos.

**Tabela 2:** Taxa de crescimento média das publicações científicas para os nanomateriais à base de carbono e nanotecnologia no período 2001-2010.

| Nanomaterial          | Taxa Média de Crescimento (%) |
|-----------------------|-------------------------------|
| Grafeno               | 48,1                          |
| Nanotubos de Carbono  | 26,4                          |
| Fulerenos             | 3,9                           |
| <b>Nanotecnologia</b> | <b>13,3</b>                   |

Fonte: Science Citation Index Expanded via Web of Science.

**Tabela 3:** Taxa de crescimento média das publicações científicas para os principais países que publicam em nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno no período 2001-2010.

|                      | País            | Total de Publicações | Taxa Média de Crescimento (%) |
|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------|
| Nanotubos de Carbono | 1 EUA           | 12827                | 22,0                          |
|                      | 2 China         | 11686                | 34,8                          |
|                      | 3 Japão         | 5107                 | 18,8                          |
|                      | 4 Coreia do Sul | 3491                 | 39,4                          |
|                      | 5 Alemanha      | 2750                 | 22,6                          |
| Fulerenos            | 1 EUA           | 3006                 | 5,3                           |
|                      | 2 Japão         | 2717                 | 1,7                           |
|                      | 3 China         | 2296                 | 8,9                           |
|                      | 4 Rússia        | 1885                 | -0,1                          |
|                      | 5 Alemanha      | 1610                 | 5,1                           |
| Grafeno              | 1 EUA           | 2719                 | 50,2                          |
|                      | 2 China         | 1440                 | 72,7                          |
|                      | 3 Japão         | 913                  | 30,9                          |
|                      | 4 Alemanha      | 738                  | 82,6                          |
|                      | 5 França        | 470                  | 56,4                          |

Fonte: Science Citation Index Expanded via Web of Science.

Duas instituições chinesas (Academia Chinesa de Ciências e Universidade de Pequim) apresentaram altas taxas de crescimento de publicações em todos os três nanomateriais no período analisado, como mostra a Tabela 4, enquanto que houve baixa taxa média de crescimento para a Universidade de Tsinghua, o que pode estar associado, pelo menos em parte, à falta de padronização de nomes da instituição. Também verificou-se altas taxas médias de crescimento para as principais instituições que publicam no tema Grafeno, possivelmente pelo momento no entorno científico deste nanomaterial, como destacado por outros autores (GEIM; NOVOSELOV, 2007). Adicionalmente, o alto crescimento médio presenciado para a Universidade Nacional de Singapura provavelmente deve-se ao seu início mais tardio em publicar regularmente sobre este nanomaterial, somente a partir de 2007.

Sob o ponto de vista metodológico, a utilização dos recursos da base de dados Web of Science para elaboração de indicadores mostrou-se útil para o estabelecimento de um panorama geral e o mapeamento de país e instituições mais expressivos para os três

nanomateriais avaliados. Contudo, algumas limitações foram observadas, entre as quais se destacam a não padronização dos nomes de instituições, o que poderia alterar os rankings obtidos, e ainda, a impossibilidade de cruzamentos de dados.

**Tabela 4:** Principais instituições que publicam em nanotecnologia, nanotubo de carbono, fulereno e grafeno entre 2001 e 2010 e a taxa de crescimento média no período.

|                      | Instituição                                      | País      | Total de Publicações | Taxa Média de Crescimento |
|----------------------|--------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------------------|
| Nanotubos de Carbono | 1 Academia Chinesa de Ciências                   | China     | 2330                 | 26,8                      |
|                      | 2 Academia de Ciências da Rússia                 | Rússia    | 622                  | 24,4                      |
|                      | 3 Universidade de Tsinghua                       | China     | 607                  | 11,8                      |
|                      | 4 Instituto de Tecnologia de Massachusetts       | EUA       | 604                  | 25,3                      |
|                      | 5 Universidade de Pequim                         | China     | 606                  | 35,2                      |
| Fulerenos            | 1 Academia de Ciências da Rússia                 | Rússia    | 1081                 | -0,7                      |
|                      | 2 Academia Chinesa de Ciências                   | China     | 583                  | 11,9                      |
|                      | 3 Universidade de Tohoku                         | Japão     | 424                  | 6,9                       |
|                      | 4 Universidade Estatal de Moscovo                | Rússia    | 328                  | 9,4                       |
|                      | 5 Universidade de Osaka                          | Japão     | 322                  | 6,5                       |
| Grafeno              | 1 Academia Chinesa de Ciências                   | China     | 337                  | 99,2                      |
|                      | 2 Conselho Superior de Investigações Científicas | Espanha   | 211                  | 42,0                      |
|                      | 3 Universidade Nacional de Singapura             | Singapura | 184                  | 162,4                     |
|                      | 4 Academia de Ciências da Rússia                 | Rússia    | 176                  | 51,8                      |
|                      | 5 Universidade da Califórnia (Berkeley)          | EUA       | 160                  | 83,9                      |

Fonte: Science Citation Index Expanded via Web of Science.

## 4 CONCLUSÃO

As publicações científicas em grafeno cresceram a taxas relativamente altas quando comparadas às dos nanotubos de carbono e fulerenos, tanto em nível global como para importantes países e instituições. Em parte, esta tendência deve-se ao fato deste nanomaterial ter sido descoberto mais recentemente do que os outros abrangidos pela presente pesquisa. Embora as pesquisas sobre nanotubos de carbono tenham se iniciado no começo dos anos 90, verificou-se que as publicações também apresentaram grande crescimento médio nos últimos anos, o que deixa perspectivas de continuidade de suas pesquisas. As publicações científicas em fulerenos têm crescido em média 3,6% ao ano, bastante inferior à nanotecnologia e aos demais nanomateriais caracterizados. Esse resultado também foi observado em nível de país e instituição de pesquisa, o que pode sugerir maturação e estagnação das pesquisas ou desinteresse pelo nanomaterial.

Os recursos da base de dados Web of Science (2012) para elaboração de indicadores revelaram-se úteis no estabelecimento de panorama geral sobre publicações científicas em nanotubos de carbono, fulerenos e grafeno. Contudo, existem limitações que tornam necessária a utilização de metodologias e softwares mais especializados para o aprofundamento da análise dos dados disponibilizados pela base.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo fomento e aos Programas de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais e em Ciência, Tecnologia e Sociedade da UFSCar pelo apoio oferecido.

## REFERÊNCIAS

- BRAUN, T.; SCHUBERT, A. P.; KOSTOFF, R. N. Growth and Trends of Fullerene Research as Reflected in Its Journal Literature. **Chemical Reviews**, v.100, n.1, p.23–38, jan. 2000.
- 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.
- GEIM, A. K.; NOVOSELOV, K. S. The rise of graphene. **Nature Materials**, v.6, n.3, p.183–191, mar. 2007.
- GUPTA, V. Technological trends in the area of fullerenes using bibliometric - analysis of patents. **Scientometrics**, v.44, n.1, p.17–31, jan. 1999.
- GUPTA, V. K.; PANGANNAYA, N. B. Carbon nanotubes: bibliometric analysis of patents. **World Patent Information**, v.22, n.3, p.185-189, set. 2000.
- KUUSI, O.; MEYER, M. Anticipating technological breakthroughs: using bibliographic coupling to explore the nanotubes paradigm. **Scientometrics**, v. 70, n. 3, p. 759-777, mar. 2007.
- LV, P. H. et al. Bibliometric trend analysis on global graphene research. **Scientometrics**, v.88, n.2, p.399–419, ago. 2011.
- 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.
- THOMSON REUTERS. **Web of Science**. Disponível em:  
<[http://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?last\\_prod=WOS&SID=4Bg7IHP9AheCliigaaf&product=WOS&highlighted\\_tab=WOS&search\\_mode=GeneralSearch](http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?last_prod=WOS&SID=4Bg7IHP9AheCliigaaf&product=WOS&highlighted_tab=WOS&search_mode=GeneralSearch)>  
Acesso em: 08 maio 2012.