

# **Nanotubos de Carbono : “boas práticas” de caracterização são absolutamente fundamentais.**

**Oswaldo Luiz Alves**

LQES – Laboratório de Química do Estado Sólido  
Instituto de Química, UNICAMP  
[lqes@iqm.unicamp.br](mailto:lqes@iqm.unicamp.br)

## **1. *Avant-propos.***

Um das principais dificuldades que se tem verificado na pesquisa – e mesmo na utilização dos nanotubos de carbono –, está relacionada à questão de sua pureza.

Na origem de tal fato está a existência dos diferentes métodos de síntese/fabricação de nanotubos de carbono fazerem uso de diversos tipos de catalisadores, geralmente metálicos, que, via-de-regra, ficam incorporados ao produto final. Outro aspecto comum a estes materiais é a presença de nanotubos com diferentes características (e grau de incorporação dos resíduos do catalisador) e outros materiais carbonáceos, como, por exemplo, carbonos amorfos, o que certamente tem implicações sobre suas propriedades.

Na tentativa de contornar tais dificuldades têm sido apresentados na literatura vários procedimentos. Todavia, grande parte deles, além de representarem alto custo, consome tempo considerável. Estes procedimentos passam por tratamentos térmicos em temperaturas geralmente inferiores a 400 °C, por tratamentos com ácidos fortes, como os ácidos clorídrico (HCl), o ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), entre outros. Enquanto os tratamentos térmicos visam geralmente à eliminação dos carbonos amorfos, os tratamentos ácidos vão na direção da eliminação dos resíduos dos catalisadores.

Na realidade, os nanotubos de carbono não podem ser considerados como reagentes *strictu-senso*, dado que, em tal classificação, a maioria dos nanotubos de carbono estaria classificada como sendo de reagentes “grau técnico”, ou mesmo inferior, o que para alguns experimentos pode se mostrar inadequado.

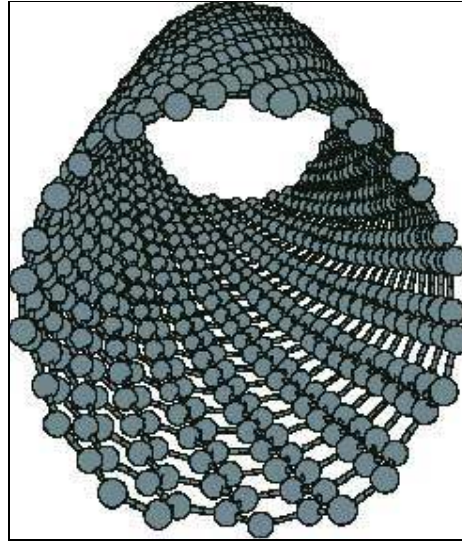
Muito desta discussão não teria, neste momento, necessidade deste aprofundamento, não fossem as enormes potencialidades colocadas para esta família de materiais.

Um fato que, de certo modo, deu lugar a estas considerações relaciona-se à observação de que, como comportamento geral, os nanotubos de carbono experimentam manifestações espectrais muito intensas de algumas de suas vibrações no espectro Raman, especialmente quando utilizamos lasers com comprimentos de onda sintonizados próximos de suas bandas de absorção. Efeito conhecido como *efeito Raman ressonante* (do inglês ressonante Raman effect, RRE). Tal efeito, acoplado à possibilidade de se poder fazer uso de microscópios, abre a possibilidade da resolução espacial, permitindo assim detectar pequenas quantidades de nanotubos, em meio a várias impurezas, e estudá-los muitas vezes como se as impurezas não estivessem presentes.

Se, por um lado, esta seletividade é excelente para vários estudos, o mesmo não ocorre para outros, como, por exemplo, na interação de nanotubos com sistemas biológicos. No último caso, a toxicidade seria creditada -intrinsecamente- aos nanotubos ou às impurezas que o acompanham? Tal questão, segundo nossa óptica, não tem sido, ainda, respondida de forma satisfatória, o que aponta para a necessidade mediata e imediata de estudos nos dois sentidos: purificação/caracterização e interação com sistemas biológicos, sem que se deixe de considerar, é claro, o meio ambiente. Em artigo recente comentamos outros aspectos desta problemática [1].

## **2. O NIST e as “boas práticas” para trabalhar com nanotubos de carbono de paredes simples (SWCNT).**

Na boa direção deste cenário o NIST (National Institute of Standards and Technology), em colaboração com a NASA, acaba de publicar um *guia prático* que contém diferentes técnicas de análise que permitem acesso ao nível de impureza dos nanotubos de carbono de paredes simples, os SWCNT (single-walled carbon nanotubes), como são conhecidos na literatura científica.



**Nanotubo de Carbono de parede simples (SWCNT)**

Créditos: ComCiência

Segundo o NIST, esta contribuição está dentro de seus objetivos: “contribuir para o desenvolvimento da economia através da proposição de novas metodologias, ferramentas para a metrologia, e desenvolvimento de padrões em parceria com a indústria”.

Como vimos, as preocupações com os nanotubos ultrapassaram os aspectos acadêmicos, na medida em que hoje há uma percepção, compartilhada por especialistas, indústrias e governos, que coloca os nanotubos de carbono como ... “certamente os nano-objetos que se apresentam, em termos de aplicações industriais, nas mais diferentes áreas, tais como materiais compósitos, nanoeletrônica ou, ainda, medicina, como um dos mais promissores.

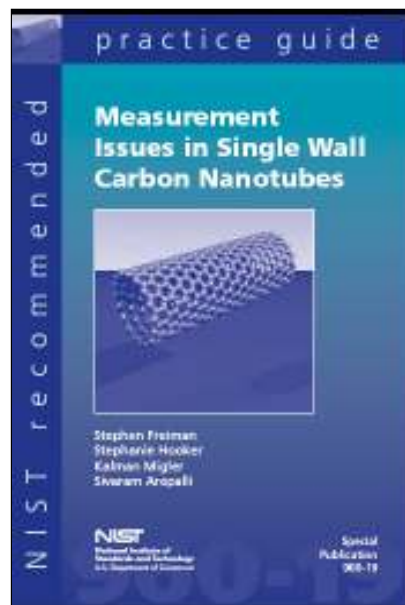
A experiência tem mostrado e um bom exemplo disto foi o que aconteceu com a própria indústria do silício para microeletrônica e, neste caso, acreditamos não será diferente, ou seja: em todos os setores nos quais os nanotubos de carbono vierem a ser utilizados (sobretudo nos mencionados no parágrafo precedente), a qualidade do material é absolutamente essencial, quando não, de-ter-mi-nan-te para o sucesso dos dispositivos e aplicações.

Dentro das perspectivas colocadas, não temos a menor dúvida de que o objetivo para o **guia prático** publicado pelo NIST: – “apresentar certo número de técnicas adaptadas à

qualificação da pureza dos SWCNT e a proposição de protocolos de análise” – vem ao encontro das necessidades do progresso e desenvolvimento de novos métodos de síntese e purificação destes materiais. Vale lembrar que, tudo isso, naturalmente tem como pano de fundo um “olhar” para uma nanotecnologia cada vez mais segura.

### 3. Um pouco sobre o guia.

O **Guia Prático dos SWCNT** contém cerca de 80 páginas e inclui técnicas como análise termogravimétrica (thermogravimetric analysis), espectroscopia infravermelho próximo (near infrared spectroscopy), espectroscopia Raman (Raman spectroscopy) e microscopia eletrônica de varredura (scanning electronic microscopy).



**Capa do Guia Prático do NIST para os SWCNT**

Créditos: NIST

Participaram de sua elaboração pesquisadores do Johnson Space Center da NASA, Universidade da Califórnia (Riverside), Universidade de Boston, Langley Research Center, também da NASA. Um dos aspectos importantes deste trabalho está no processo de discussão iniciado, visando não só seu reconhecimento, mas também atingir o status de padrões internacionais para a caracterização de nanotubos de carbono

SWCNT, ou seja, sua aceitação pela International Organization of Standardization (ISO).

#### 4. Considerações finais.

Em nossa opinião, este *guia prático* publicado pelo NIST dá um importante passo na direção da utilização de protocolos mais abrangentes que, no limite, permitirão um cotejo mais adequado dos vários resultados experimentais existentes e que estão por vir, permitindo enfrentar os enormes desafios ligados à síntese de nanotubos de alta pureza.

A introjeção destes protocolos, tanto na academia quanto no setor industrial, e, até mesmo, sua revisão e aprimoramento periódicos, fazendo uso da enorme massa de informações e dados que vem sendo gerada, certamente trará importantes ganhos não só para o desenvolvimento de tecnologias que levem à produção de SWCNT “mais limpos”, mas também na avaliação e prevenção do impacto dessas nanoestruturas vis-à-vis os seres humanos (notadamente os trabalhadores envolvidos com sua fabricação) e o meio ambiente em geral.

Finalmente, um lembrete relevante: o **Guia Prático dos SWCNT** do NIST é de domínio público e pode ser baixado da Internet em:

[http://www.nist.gov/public\\_affairs/practiceguides/NIST%20SP960-19.pdf](http://www.nist.gov/public_affairs/practiceguides/NIST%20SP960-19.pdf).

#### 5. Referências e Notas.

[1] O. L. Alves, “*Toxicidade de Nanotubos de Carbono: meio ambiente e saúde esperam resposta*” ([http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/pontos\\_vista/pontos\\_vista\\_divulgacao56-1.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/pontos_vista/pontos_vista_divulgacao56-1.html)), LQES News, 2007.

[2] Caso queira saber mais sobre a questão da toxicidade de nanotubos de carbono acesse “*Abordagens para um Trabalho Seguro com Nanotubos de Carbono*” ([http://lqes.iqm.unicamp.br/images/bibliotecas\\_lqes\\_nanotecnologia\\_nanoriscos\\_seguranca.pdf](http://lqes.iqm.unicamp.br/images/bibliotecas_lqes_nanotecnologia_nanoriscos_seguranca.pdf)), LQES News, 2008.