

INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO A RAIOS-X NA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO 'BUCKYPAPER'

Daniel Brito de Araújo(1); Orientador: Dr. Eduardo Bedê Barros (2)

(Universidade Federal do Ceará, daniel.dearaujo@fisica.ufc.br)

1 – INTRODUÇÃO

Nanotubos de Carbono (CNT)⁽¹⁾⁽²⁾ são estruturas nanoscópicas compostas basicamente por átomos de Carbono. CNT se assemelha a uma folha de grafeno⁽¹⁾ dobrada em forma de tubo - para o caso de nanotubos de camada única (SWCNT) - ou várias folhas de grafeno dobradas em forma de tubo para o caso de nanotubos de várias camadas (MWCNT). Nanotubos de carbono são foco de várias pesquisas que visam não só caracterizar a estrutura⁽³⁾ como buscam aplicações para o material⁽⁴⁾.

Buckypaper⁽⁵⁾ é uma estrutura macroscópica composta por nanotubos de carbono. A motivação para a produção de tal material é a tentativa de reprodução das propriedades microscópicas do CNT em escala macroscópica. Depois de extensa pesquisa sobre CNT o mundo científico já conhece as propriedades vantajosas (alta condutividade elétrica e térmica, alta resistência mecânica, etc.) do material microscópico, porém para o utilizarmos em tecnologias populares é necessário reproduzir tais propriedades macroscopicamente. Buckypaper é uma (dentre alguns exemplos⁽⁶⁾) das tentativas desta reprodução. O buckypaper se assemelha a um papel na maneira de que o nanotubos se organizam nele de maneira semelhante à das fibras em uma folha de papel.

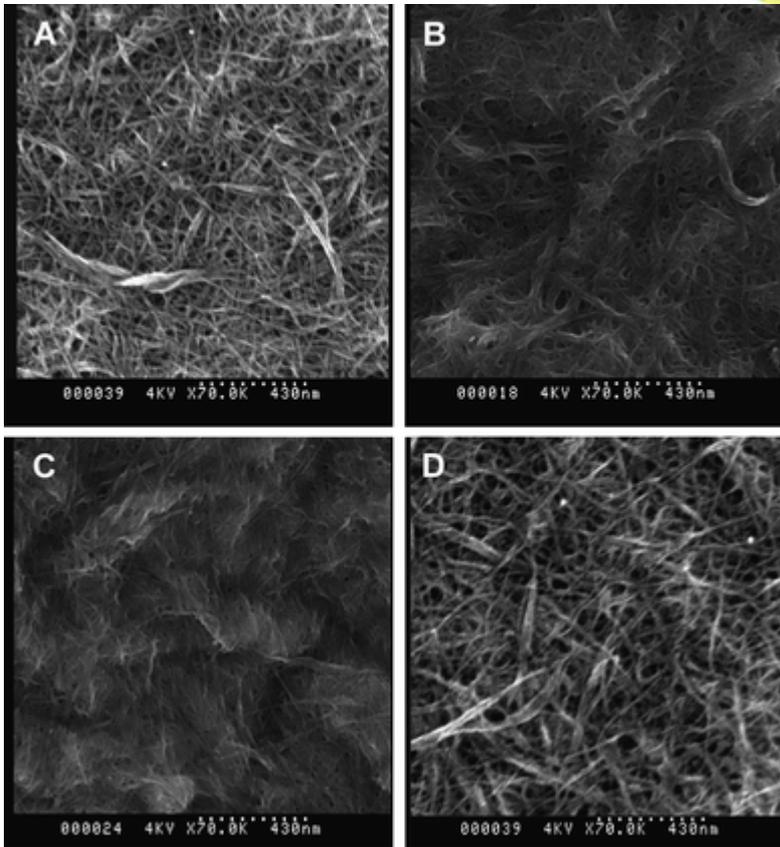
Ao passar uma corrente elétrica por uma amostra de buckypaper devemos visualizar os seguintes aspectos com clareza: a corrente passará pelos nanotubos individualmente e estes apresentarão condutividade elétrica de acordo com sua qualidade; a corrente deverá passar de um nanotubo para o próximo superando a barreira potencial que varia com a qualidade do contato entre os nanotubos.

Portanto a condutividade do material trabalhado depende da qualidade dos nanotubos usados e de como conseguimos ligar os nanotubos entre si. Como sabemos pela literatura⁽²⁾ a condutividade dos nanotubos individualmente é grande, portanto o principal fator para a reduzida condutividade do material macroscópico deve ser a conexão entre os nanotubos.

1.1 – RADIAÇÃO

Há radiação em todo o ambiente terrestre, principalmente gerada no Sol. Porém fora da atmosfera terrestre a radiação é de ainda maior intensidade e variedade, posto que há um filtro a menos. O espectro solar⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾ vai do infravermelho (54000 Å, ~ 0,2 eV) ao ultravioleta (670 Å, ~ 18,5 eV), mas o Sol também libera partículas com altas energias (prótons, elétrons, partículas alfa e beta) e outros tipos de radiações energéticas (Raios-X⁽¹¹⁾ e gama). Durante explosões solares há liberação de radiação de praticamente todo o espectro eletromagnético, além de radiação corpuscular, em intensidades altíssimas.

Imagem 1^(a) - microscopia eletrônica de varredura de buckypaper, mostrando (em quatro exemplos) como os CNT se organizam (semelhantes às fibras no papel) na composição do material macroscópico:



Todo tipo de radiação emitida pelo Sol nos é de interesse, posto que visamos aplicação do material (buckypaper) em ambiente sem proteção desta radiação (fora da atmosfera terrestre). Contudo, por restrição de aplicação, focamos nos Raios-X (que já é sabido interagir com nanotubos de carbono⁽¹²⁾⁽¹³⁾).

Raios-X é a denominação de ondas eletromagnéticas na faixa de 10 pm a 100 pm, ~10 KeV a ~100 KeV (Raios-X duros) e de 100 pm a 10 nm, ~10 KeV a ~1 KeV (Raios-X moles). Esse tipo de radiação é emitido em grande intensidade pelo Sol, porém é quase completamente barrado pela atmosfera terrestre. Estas ondas eletromagnéticas são conhecidas por penetrar materiais (devido ao pequeno comprimento de onda) e famosas por interagir com estes liberando elétrons (efeito fotoelétrico⁽¹⁴⁾).

A motivação deste trabalho é vislumbrar a possibilidade de aplicação do buckypaper em tecnologias espaciais, como satélites. A aplicação seria interessante posto que nanoestruturas a base de carbono tem propriedades muito úteis (como alta condutividade elétrica e alto módulo de Young por exemplo⁽¹⁾) e são extremamente leves (o que significa barato de lançar em órbita). O trabalho decidiu se focar na condutividade do buckypaper, e apenas tentou simular o ambiente espacial no que se trata de radiação.

2 - METODOLOGIA

O trabalho apresentado foi efetuado no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC) como parte do grupo de Materiais Nanoestruturados tendo como coordenador o Prof. Dr. Antônio Gomes S. Filho e no Departamento de Física da University of Surrey (UoS) como parte do grupo The Nanostructured Materials Group coordenado pelo Prof. Dr. Alan B. Dalton. Este trabalho também se utilizou do laboratório de radiação do Centre For Nuclear And Radiation Physics situado na University of Surrey com a colaboração do Prof. Phd. David Bradley.

Com o objetivo central do trabalho sendo verificar a variação da condutividade do buckypaper ao expô-lo a altas doses de radiação organizamos o trabalho em etapas.

- A aprendizagem e execução de técnicas de preparo de buckypaper. As técnicas estudadas foram de dispersão dos nanotubos em soluções, seguida por filtragem a vacuo.
- Com as amostras de buckypaper prontas medimos suas respectivas condutividades.
- Expomos as amostras a diferentes doses de radiação, utilizamos altas doses de Raios-X para este procedimento.
- Medimos a condutividade das amostras após a exposição à radiação.
- Com todos os dados em mãos, comparamos as condutividades das mesmas amostras antes e após a exposição à radiação e traçamos as conclusões

Para medirmos a condutividade utilizamos o equipamento KERTHLEY 2400 conectado a um computador com as configurações de teste de dois pontos. Não fizemos o contato das pontas direto com o buckypaper, utilizamos esmalte prata condutor nas extremidades dos retângulos de buckypaper (o comprimento medido das amostras retangulares indica a mínima distância entre o esmalte de cada extremidade da amostra). Cada uma das duas pontas foi posta em contato com o esmalte (sem atravessá-lo) em cada extremidade da amostra. Rodamos o software LabTracer 2.0. Utilizamos a configuração padrão (232V; 150mA; 20W) do programa apenas com a amplitude da voltagem alterada para de -1V a +1V. Obtivemos os dados de corrente contra voltagem em centenas de pontos.

O gráfico corrente-voltagem foi traçado mostrando um comportamento de resistor ôhmico. Obtivemos a resistência de cada amostra e utilizamos a Equação 1:

$$R = \frac{l}{\sigma S} \quad (1)$$

R = resistência; l = comprimento; σ = condutividade elétrica; S = area (largura X grossura) para obtermos a condutividade.

Em nossa montagem para a exposição à radiação colocamos uma barreira de chumbo na frente do tubo de Raios-X, deixando apenas uma abertura alinhada com a saída da radiação. Fizemos isso apenas para concentrar a radiação na amostra, posta poucas dezenas de centímetros após a barreira

de chumbo. Nossas amostras (em tiras) foram pregadas com fitas adesivas à uma base vertical e um papel plástico apropriado impediu o contato da amostra com a base vertical (metálica).

Uma facilidade dos tubos de Raios-X é a possibilidade de controlar precisamente a dosagem à qual expomos as amostras. Usamos radiação de 160KeV a ~15.2 Gy/min.

Para variar a dose de radiação à qual cada amostra foi exposta apenas variamos o tempo de exposição com a mesma montagem da aparelhagem.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui presentes são de duas amostras, uma feita utilizando o SDS como solvente – identificada como SDS 2 – e a outra amostra feita utilizando Metanol como solvente – identificada como MET 1. Cada uma dessas amostras foi cortada em fitas que foram identificadas com letras (de A a L no caso da SDS 2, e de A a F para MET 1).

As tabelas 3.1 e 3.2 abaixo apresentam a condutividade de cada tira de amostra antes e depois da exposição à radiação, assim como a quantidade de radiação à qual a amostra foi exposta.

TABELA 3.1 – Condutividade do MET 1

AMOSTRA	Condutividade (S/m)		Exposição Radioativa Aproximada (Gy)	Diferença (%)
	Não-irradiada	Irradiada		
A	4.29E+05	2.47E+05	5.2	-42
B	3.80E+05	2.60E+05	5.2	-32
C	5.15E+05	2.64E+05	14.5	-49
D	5.75E+05	3.37E+05	14.5	-41
E	5.74E+05	3.66E+05	48.2	-36
F	2.94E+05	1.78E+05	48.2	-39

TABELA 3.2 – Condutividade do SDS 2

AMOSTRA	Condutividade (S/m)		Exposição Radioativa Aproximada (Gy)	Diferença (%)
	Não-irradiada	Irradiada		
A	1.08E+06	3.65E+05	2.2	-66
B	3.19E+05	8.56E+04	4.6	-73
C	3.22E+05	1.38E+05	7.0	-57

D	3.49E+05	1.00E+05	14.6	-71
E	2.83E+05	1.09E+05	55.0	-61
F	8.48E+05	2.49E+05	110.0	-71
G	3.57E+05	1.92E+05	5.6	-46
H	7.40E+05	4.82E+05	6.0	-35
I	4.10E+05	2.54E+05	11.3	-38
J	1.03E+06	4.76E+05	27.5	-54
K	1.17E+06	7.13E+05	54.1	-39
L	2.12E+06	1.47E+06	107.7	-31

Os resultados exibidos nas tabelas 3.1 e 3.2 nos mostraram que em todos os casos a condutividade foi reduzida, o que nos permite afirmar com segurança que a exposição à radiação do tipo utilizada (Raios-X de 160 keV, e exposição maior que 2 Gy) prejudica a qualidade elétrica das amostras.

Nós variamos a quantidade de radiação à qual as amostras foram expostas, porém não é possível verificar nenhuma relação entre esta quantidade e a redução da condutividade da amostra (diferença em potencial exibida nas tabelas 3.1 e 3.2). Uma possível explicação seria que mesmo variando a quantidade de radiação, todas as variações que usamos foram de grande magnitude, sendo capaz de danificar as amostras a um ponto limite.

6 – CONCLUSÃO

Chegamos à conclusão de que a exposição do buckypaper a Raios-X diminui a condutividade elétrica do material. Isto se deve ao fato da radiação ser capaz de danificar e até partir os nanotubos (de alta condutividade elétrica) que compõem a estrutura macroscópica. Isto se observa independente das expectativas de que a energia fornecida pelos fótons fosse capaz de melhorar a conexão entre dois nanotubos consecutivos na rede do buckypaper.

Vale chamar atenção ao evento observado de que a intensidade total da radiação não influencia (visivelmente) na perda de condutividade elétrica. Este evento sugere um ponto limite de dano causado ao buckypaper pelos Raios-X.

7 - BIBLIOGRAFIA

- (1) ZHU, Y. et al. *Graphene and Graphene Oxide: Synthesis, Properties, and Applications*. *Advanced Materials*, 22, p. 3906-3924, 2010.
- (2) SAITO, R.; DRESSELHAUS, G. et al. *Physical Properties of Carbon Nanotubes*. World Scientific, 1998.

- (3) DRESSELHAUS, M. S.; DRESSELHAUS, G.; SOUZA FILHO, A. G. et al. *Raman spectroscopy on isolated single wall carbon nanotubes*. CARBON, 40 (12), p. 2043 – 2061, 2002.
- (4) HEISTER, E.; JUREWICZ, I.; DALTON, A. B. et al. *Are carbon nanotubes a natural solution? Applications in biology and medicine*. ACS Applied Materials & Interfaces, 5 (6), 2013.
- (5) ENDO, M.; DRESSELHAUS, M. S. et al. *Nanotechnology: 'Buckypaper' from coaxial nanotubes*. Nature, 433 (476). 2005
- (6) MUNOZ, E.; DALTON, A. B. et al. *Highly conducting carbon nanotube/polyethyleneimine composite fibers*. Advanced Materials, v. 17, n. 8, p. 1064-1067, 2005
- (7) RASTOGI, R. et al. *Comparative study of carbon nanotube dispersion using surfactants*. Journal of Colloid and Interface Science, 328, p. 421-428, 2008.
- (8) ZHANG, J.; GAO, L. *Dispersion of multiwall carbon nanotubes by sodium dodecyl sulphate for preparation of modified electrodes toward detecting hydrogen peroxide*. Materials Letters, 61, p. 3571-3574, 2007.
- (9) Base de données Solaire Sol, BASS2000. *High resolution solar spectrum*. Disponível em <http://bass2000.obspm.fr/solar_spect.php?WL=670&DW=1000&sel_resol=1&Find.x=19&Find.y=5&Find=Find> Acesso em junho de 2015.
- (10) NASA's Space Radiation Analysis Group, Johnson Space Center. *What is Space Radiation*. Disponível em <<http://srag-nt.jsc.nasa.gov/spaceradiation/what/what.cfm>> Acesso em Junho de 2015.
- (11) E Física, Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada. *Moderna: Raios-X*. Disponível em <<http://efisica.if.usp.br/moderna/raios-x/raios-x/>> Acesso em Junho de 2015.
- (12) CRESS, C. D. et al. *Radiation Effects in Single-Walled Carbon Nanotube Thin-Film-Transistors*. IEEE Transactions on Nuclear Science, v. 57, n. 6, dez. 2010
- (13) AYALA, P.; SHIOZAWA, H. et al. *An X-ray absorption approach to mixed and metallicity-sorted single-walled carbon nanotubes*. J Mater Sci, 45, p. 5318-5322, 2010.
- (14) EINSTEIN, A. *On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light*. Annalen der Physik, 322 (6), p. 132-148. 1905
- (a) Imagem disponível em <<http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2009/JM/B914824H>> Acesso em junho de 2015.