



# PROPRIEDADES ELÉTRICAS DE FILMES DE ÓXIDO DE GRAFENO, ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO E SUAS JUNÇÕES

Palavras-Chave: JUNÇÕES, ÓXIDO DE GRAFENO, ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO

Autores(as):

DANIEL OLIVEIRA PAIXÃO, FCA – UNICAMP

Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. ANA LUIZA CARDOSO PEREIRA (orientadora), FCA – UNICAMP

---

## INTRODUÇÃO

O grafeno, um nanomaterial bidimensional, com átomos de carbono ligados numa rede hexagonal, têm despertado cada vez mais interesse de pesquisas científicas, desde sua descoberta em 2004 [1], devido ao potencial de suas aplicações [2]. O óxido de grafeno (GO), obtido por esfoliação química a partir do grafite, apresenta um grande interesse também, apresentando boa solubilidade em meio aquoso, e em materiais poliméricos [3,4]. A partir da obtenção do óxido de grafeno reduzido (r-GO), as aplicações do grafeno em mais larga escala se tornaram possíveis [5-7].

As junções do óxido de grafeno com óxido de grafeno reduzido, apresentam propriedades eletrônicas interessantes, dentre elas, possibilidade de gerarem energia [8,9], a retificação de corrente, com comportamento similar ao de um diodo [10], permitindo, portanto, a passagem de corrente elétrica em um determinado sentido, enquanto a passagem no outro sentido é bloqueada.

A presente pesquisa, consiste em analisar quais são as propriedades eletrônicas das junções de óxido de grafeno com óxido de grafeno reduzido. O GO e r-GO, apresentam propriedades eletrônicas diferentes [11], enquanto o GO é considerado isolante, após o processo de redução, passa a ser um condutor [5-7].

## METODOLOGIA:

Para a obtenção do óxido de grafeno, usa-se o método de Hummers modificado [12], onde o grafite em pó de alta pureza reage com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), em seguida, reage

com um agente oxidante (KMNO<sub>4</sub>). Na mistura obtida é adicionado peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que serve para remoção de resquícios de íons, originados pelo agente oxidante.

Após a obtenção do óxido de grafeno, são preparados filmes de óxido de grafeno sobre lâminas de vidro, por *drop casting* [12], que são deixados para secar completamente por 48 horas em condições ambientes. Para obter o óxido de grafeno reduzido, é utilizado o processo de redução por via térmica, através de prensar a amostra a quente entre lâminas de vidro, utilizando um hot-plate KASVI (modelo K40 1820H), controlando a temperatura do hot-plate em 200°C [13].

Com as amostras de óxido de grafeno e de óxido de grafeno reduzido, usamos o método das 4 pontas para realizarmos as medidas elétricas, do GO, r-GO e das junções de GO com r-GO. Através deste método, obtivemos as curvas I-V (corrente elétrica versus tensão), e a partir delas conseguimos determinar a resistência elétrica das amostras, pela primeira Lei de OHM, conforme a equação 1. Utilizam-se dois equipamentos simultaneamente, controlados por software *LabVIEW* para aquisição de dados: uma fonte de corrente de alta precisão (Keithley, modelo 6220) como mostrado na Figura 1 fornece uma corrente elétrica de até 100 mA, e um multímetro digital (Keithley, modelo 2100 6 1/2) mostrado na Figura 2.

$$U = R \cdot i \quad (\text{Equação 1})$$

U = Diferença de tensão elétrica (voltagem), expressa em volts (V)

R = Resistência elétrica média, expressa em ohms ( $\Omega$ )

i = Corrente elétrica, expressa em ampères (A)



Figura 1: Fonte de corrente de precisão, Keithley modelo 6220  
Fonte: Autoral



Figura 2: Multímetro digital, usado como voltímetro Keithley modelo 2100 6 ½  
Fonte: Autoral

Quatro eletrodos são dispostos linearmente, e enquanto a corrente é injetada através dos dois eletrodos externos, a tensão é medida sobre os outros dois internos, como mostra a Figura 3.

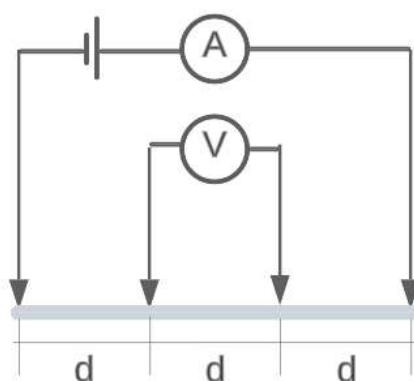


Figura 3 : Desenho esquemático, método 4 pontas.  
Fonte: Autoral

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Este projeto de iniciação científica envolve a síntese química do óxido de grafeno, o preparo de filmes de óxido de grafeno por *drop casting*, a redução do óxido de grafeno por via térmica, para obter filmes de r-GO, e a investigação das propriedades elétricas tanto dos filmes de GO e r-GO, quanto das junções entre óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido.

As pesquisas das junções do GO com r-GO, ainda estão em andamento, mas os resultados obtidos até aqui mostram que as amostras que estão sendo analisadas do GO e r-GO separadamente, que posteriormente serão utilizadas para as junções, estão apresentando resistência elétrica conforme esperado. Por exemplo, as amostras de óxido de grafeno reduzido, estão sendo boas condutoras de corrente elétrica, com curvas I-V perfeitamente lineares,

indicando comportamento de condutor ôhmico, e resistência elétrica abaixo de  $1\text{k}\Omega$ , enquanto as amostras somente de óxido de grafeno (não reduzido) apresentam resistência elétrica ordens de grandeza maior, na faixa de mega Ohms, indicando comportamento de isolante elétrico.

## **BIBLIOGRAFIA:**

[1] K. S. Novoselov et al., **“Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films”** Science 306, 666 (2004)

[2] A. K. Geim and K. S. Novoselov, **“The rise of graphene”**, Nature Materials, 6, 183 (2007)

[3] Peter Wick, Anna E. Louw-Gaume, Melanie Kucki, Harald F. Krug, Kostas Kostarelos, et al.. **“Classification Framework for Graphene-Based Materials.”** Angewandte Chemie International Edition, WileyVCH Verlag, 2014, vol. 53 (n° 30), pp. 7714-7718.

[4] J. Ma, D. Ping and X. Dong, **“Recent Developments of Graphene Oxide-Based Membranes: A Review”** Membranes 7, 52 (2017).

[5] A. T. Smith, A. M. LaChance, S. Zeng, B. Li, L. Sun, **“Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites”** Nano Materials Science 1, 31 (2019)

[6] S. Ray, **“Applications of graphene and graphene-oxide based nanomaterials”** , William Andrew (Elsevier), Oxford, UK, (2015)

[7] V. B. Mohan et al. **“Graphene-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations”** Composites Part B 142, 200 (2018)

[8] H. Cheng et al., **“Spontaneous power source in ambient air of a well-directionally reduced graphene oxide bulk”**. Energy & Environ. Science, 11, 2839 (2018)

[9] Y. Huang et al., **“Interface-mediated hygroelectric generator with an output voltage approaching 1.5 volts”**, Nature Commun. 9, 4166 (2018)

[10] S. K. Jana, S. Banerjee, S. Bayan, H. R. Inta and V. Mahalingam, **“Rectification and Amplification of Ionic Current in Planar Graphene/Graphene-Oxide Junctions: An Electrochemical Diode and Transistor”**, J. Phys. Chem. C, 122, 11378 (2018).

[11] A. T. Smith et al., **“Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites”**, Nano Materials Science. 1 ,31 (2019)

**[12] Alam, S.N. et al. (2017) “Synthesis of Graphene Oxide (GO) by Modified Hummers Method and Its Thermal Reduction to Obtain Reduced Graphene Oxide (rGO)\*”**  
Graphene, 6(1), pp. 1–18.doi:10.4236/GRAPHENE.2017.61001.

**[13] E. Demarchi, “Compósito polimérico condutor: Síntese e caracterização de membranas de policaprolactona revestidas de óxido de grafeno reduzido”**  
Dissertação de Mestrado, FCA-Unicamp - Limeira, SP (2023).