

Nanomateriais de Carbono: tipos, diferenças e aplicabilidade

Faculdade Unyleya *

Jullyano Lino da Silva[†]

15/07/2021

Resumo

Dentro do escopo de Fenômenos de Transporte em Nanoescala, este trabalho apresenta considerações qualitativas sobre nanomateriais de carbono. Contextualiza-se o posicionamento desse tipo de material, dentre os tipos de nanomateriais existentes, e aborda-se especificamente os tipos, as diferenças e a aplicabilidade daqueles baseados em carbono conforme as referências propostas pelo curso de pós-graduação *lato sensu* Engenharia da Nanotecnologia da Faculdade Unyleya.

Palavras-chaves: Nanomateriais. Carbono. Tipos. Diferenças. Aplicabilidade.

Introdução

Os nanomateriais possuem, em pelo menos uma dimensão, unidades estruturais na escala bilionésima do metro ($10^{-9}m$) e podem ser dimensionalmente organizados em nanopartículas, nanofibras, nanotubos, *nanorods* e nanofitas ou conforme o estado da matéria: nanocompósitos, nanoespuma, nanoporosos e nanocristais (WIKIPEDIA, 2021) ou ainda conforme a figura 1 (página 2). Dentre os diversos tipos de nanomateriais mais utilizados atualmente, a saber nanomateriais metálicos, dendrímeros e compósitos, destacam-se os nanomateriais de carbono em função da alotropia única desse elemento químico (AGENCY, 2007).

A versátil tetravalência do Carbono o permite orquestrar formações de várias estruturas com propriedades fundamentalmente singulares, como assim o fazem seus conhecidos alótropos largamente utilizados na academia, indústria e comércio: o diamante e o grafite. Nanopartículas de carbono são encontrados em quantidade insignificante na natureza e, em sua maioria, são artificialmente sintetizadas. Ou seja, sua disponibilidade independe de reservas naturais, apenas da matéria-prima e dos processos de fabricação (ZAYTSEVA; NEUMANN, 2016).

Para as próximas décadas, projeta-se uma constante expansão no volume de fabricação de alótropos sintéticos do Carbono que compõem uma lista que não para de crescer: nanotubos de carbono, cebolas de carbono, diamantes, fulereno, grafeno, nitreto de

* <<https://unyleya.edu.br/>>

[†]jullyanolino@gmail.com

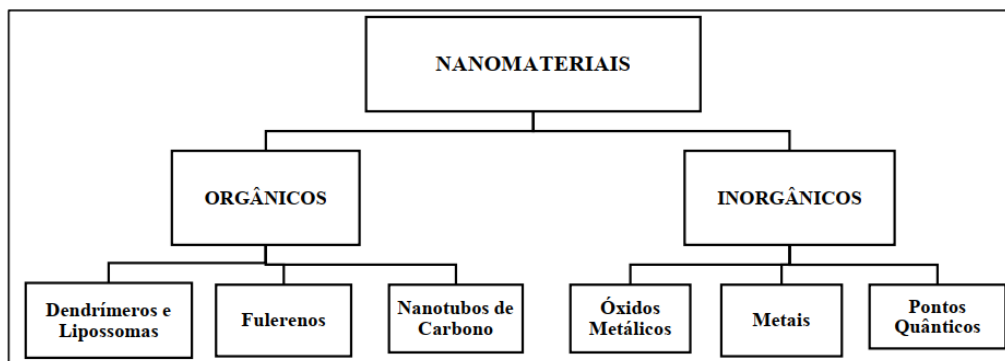


Figura 1 – Classificação de nanomateriais de acordo com as suas propriedades físicas (MARCONE, 2015)

carbono grafítico, nanofibras e nanoflocos de carbono, esferas ocas de carboneto de silício, carboneto de metal de transição (MXene) e carbonitretos (THOMAS, 2021).

Apesar de seu potencial industrial, existem preocupações quanto a possíveis impactos relacionados à sua interação com organismos vivos, especialmente plantas (componente fundamental de cadeias alimentares em ecossistemas naturais e agrícolas), onde a entrada de nanomateriais de carbono pode ser esperada como consequência do uso intencional em aplicações agrícolas e ambientais ou por liberação acidental (ZAYTSEVA; NEUMANN, 2016).

No Brasil, algumas aplicações promissoras têm sido desenvolvidas: Nanomateriais, Nanoeletrônica, Nanofotônica, Nanobiotecnologia, Nanoenergia, Nanoambiente. Alguns produtos fabricados no Brasil são: língua eletrônica, grafite para lápis com partículas organometálicas, Endorótese arterial aórtica, secador de cabelo, sistema de liberação controlada de drogas, revestimentos nanoestruturados, nanocosmético Vitactive nanoserum antissinais, nanocompósitos de polipropileno e poetileno (MARCONE, 2015).

Nesse contexto, este artigo tem o objetivo de abordar opinativamente alguns tipos, suas diferenças e aplicabilidades dos nanomateriais baseados em carbono dentro do escopo do curso de pós-graduação *lato sensu* Engenharia da Nanotecnologia oferecido pela Faculdade Unyleya.

1 Tipos

A flexibilidade eletrônica singular do elemento químico Carbono, possibilita a formação de diversos materiais (nanomateriais de carbono) a partir de sua diversa alotropia encontrada na natureza e classificada na figura 2 (página 3):

No grafite, alguns átomos de carbono formam folhas bidimensionais com a aparência de uma colmeia (Figura 1a). O diamante é um sólido covalente formado por átomos de carbono ligados a quatro outros átomos de carbono, em uma geometria tetraédrica (Figura 1b). Os fullerenos são moléculas nanométricas esferoidais constituídas por átomos de carbono cujo representante mais famoso é o buckminsterfullereno, C_{60} (Figura 1c).

Os “nanotubos de carbono” são formados a partir do enrolamento de uma ou mais folhas de grafeno a partir do seu próprio eixo, formando estruturas cilíndricas (tubulares) com diâmetros nanométricos e comprimentos que variam de alguns micrômetros até vários

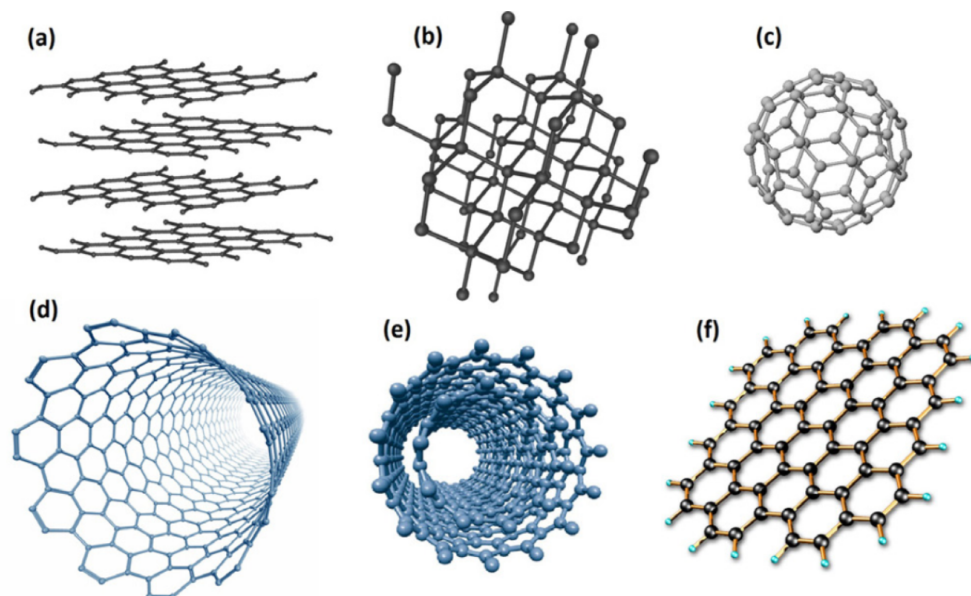


Figura 2 – Alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de parede simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012)

centímetros. Eles podem ser separados em dois grupos: os nanotubos de carbono de paredes simples (Figura 1d), no qual uma única folha de grafeno é responsável pela sua estrutura; e os nanotubos de carbono de paredes múltiplas (Figura 1e), onde várias folhas de grafeno se enrolam de forma concêntrica, como um tubo coaxial, separadas entre si por uma distância muito parecida com aquela observada entre as folhas de grafeno no grafite.

O grafeno, impossível de ser obtido em sua forma livre, corresponde a um material bidimensional com a espessura monoatômica cujo empilhamento origina a estrutura do grafite (Figura 1f). O termo "grafeno" corresponde a uma família de compostos, desde a folha monoatômica, até materiais formados por duas, três, quatro ou até dez folhas de grafeno empilhadas de forma organizada.

2 Diferenças

O elemento químico associado à vida e à ciência química, o Carbono, é o único constituinte dos mais intrigantes e diversos tipos de materiais conhecidos na química de materiais e na Nanociência & Nanotecnologia (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012). A seção anterior abordou as características básicas de cada um dos tipos desses materiais extremamente individualizados entre si. Dentre as maiores diferenças entre os tipos de nanomateriais de carbono abordados, destacam-se aquelas características dos alótropos mais conhecidos, grafite, diamante e fulereno, e dos nanotubos de carbono e do grafeno as quais são inéditas e estrategicamente aplicáveis.

A estrutura de um nanotubo de carbono, por exemplo, caracteriza-se pela ligação mais forte existente na natureza ($C_{sp2}-C_{sp2}$). Aqueles de parede simples podem apresentar características metálicas ou semicondutoras e os de paredes múltiplas por sua vez sempre apresentam condutividade metálica. A estrutura curva com diâmetro reduzido dos nanotubos confina os elétrons da folha de grafeno em uma única dimensão, onde a possibilidade de

transições entre estas singularidades lhes confere propriedades óticas únicas, que também são dependentes da ‘quiralidade’ e do diâmetro dos nanotubos. A condutividade térmica dos nanotubos de carbono é uma das mais altas conhecidas, excedendo bastante a observada para o diamante. A estrutura perfeita de um nanotubo apresenta átomos de carbono com ligações incompletas nas extremidades abertas (*dangling bonds*), sendo portanto pontos de alta reatividade (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012).

Os elétrons no grafeno se comportam como partículas relativísticas de massa zero, o que acarreta em um efeito de Quantum Hall bastante anômalo, alta mobilidade eletrônica, e condutividade térmica e resistência mecânica similares às dos nanotubos (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012).

O fulereno, por sua definição, corresponde fundamentalmente a uma forma molecular do carbono (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012).

3 Aplicabilidade

Nanogaps de grafeno são utilizados em montagem de dispositivos de nanopartícula única sob a abordagem *bottom-up* a partir de plataformas dieletroréticas. Dispositivos de partícula única têm se mostrado promissores para aplicações como fontes de luz em nanoescala e dispositivos *spintrônicos*. Essa aplicação abre precedentes para outras medições de transporte quântico em uma vasta série de novos nanomateriais com resolução de partícula única e de dispositivos de baixa dimensão, aplicações nano e optoeletrônicas e o estudo dos fundamentos de fenômenos de transporte Cully et al. (2021).

No campo de pesquisa de plataformas nanofluídicas ecológicas, materiais biodegradáveis, como lâmina ungueal humana (*corpus unguis* ou unha) e ovo de galinha desnaturado (albumina e gema) foram utilizados como membranas nanoporosas *permseletivas*. Embora tais materiais sejam menos robustos do que estruturas nano-litograficamente fabricadas, dispositivos micro e nanofluídicos simples e integrados com tais materiais demonstram fenômenos nanofluídicos (PARK et al., 2021).

As perspectivas de comunicação de última geração encontram em tecnologias avançadas de MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* ou transistor de efeito de campo metal óxido semiconductor - TECMOS) a viabilidade do empacotamento de densidade e aumento de desempenho em termos de ganho de unidade frequência e frequência máxima de oscilação (THz) em circuitos integrados e chips. Tais dispositivos, *Double-Gate (DG) MOSFET*, *surrounding-gate MOSFET* e *Cylindrical Surrounding Double-Gate (CSDG) MOSFET*, são reduzidos para o menor comprimento de canal possível para uma espessura de óxido escolhida, o que reduz ainda mais os efeitos de canal curto em aplicações de alta frequência (SOOD; SRIVASTAVA; SINGH, 2018).

Dentre outras possibilidades de aplicações reais, destacam-se aquelas especificamente possibilitadas pelos nanotubos de carbono como: a) compósitos; b) energia elétrica: armazenamento, conversã e transmissão; c) sensores e biossensores de gases, toxinas, fragmentos de DNA, os mais diversos tipos de biomoléculas, fármacos, etc; d) eletrônica (FET – *field-effect transistors* com performances superiores aos encontrados para dispositivos baseados em silício); e) filmes finos na utilização em *touch screen*; f) meio ambiente: processos de purificação e descontaminação de águas ou como foto- e eletro-catalisador para oxidação de contaminantes; e g) catálise (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012).

Considerações finais

Os nanotubos de carbono deixaram de ser uma promessa em potencial e atingiram o último estágio do desenvolvimento tecnológico, sendo comercializados como componentes de diversos produtos, dispositivos e sistemas. Muitos dos mitos e lendas dos primórdios dos nanotubos de carbono foram gradativamente sendo derrubados, como a suposta dificuldade de produção em grande escala, a suposta impossibilidade na obtenção de amostras puras e controladas e os supostos altos preços, que inviabilizariam sua aplicação. Esta realidade só foi possível devido à alta interdisciplinaridade da área, onde as fronteiras clássicas de disciplinas foram rompidas e novas concepções do fazer ciência foram adotadas ([ZARBIN; OLIVEIRA, 2012](#)):

Nos dias atuais (...) vários países, incluindo dois do bloco BRICS (China e Índia), produzem nanotubos de carbono em quantidade, qualidade e baixo custo, que podem ser adquiridos como matéria-prima para a indústria.

Grande parte do conhecimento desenvolvido na pesquisa de nanotubos foi adaptada para aquelas envolvendo o grafeno. Hoje, o maior desafio da área consiste em preparar amostras estruturalmente perfeitas, com grandes tamanhos de folhas, com controle no número de folhas empilhadas (mono-, bi-, tr-camadas, etc.), e em grande quantidade ([ZARBIN; OLIVEIRA, 2012](#)).

Observa-se uma grande demanda de profissionais qualificados nas mais diversas áreas apresentadas, sobretudo nos setores de regulação, avaliação de riscos ecotoxicológicos e toxicológicos, bem como de metrologia ([MARCONE, 2015](#)).

Carbon Nanomaterials: types, differences and applicability

Unyleya College

Jullyano Lino da Silva

15/07/2021

Abstract

Within the scope of Transport Phenomena at Nanoscale, this work presents qualitative considerations about carbon nanomaterials. The positioning of this type of material, among the existing nanomaterials, is contextualized, and the types, differences and applicability of those based on carbon are specifically addressed, according to the references proposed by the lato sensu postgraduate course in Nanotechnology Engineering at Unyleya College.

Key-words: Carbon. Nanomaterials. Types Differences. Applicability.

Referências

AGENCY, U. S. E. P. *Classification of Nanomaterials, The Four Main Types of Intentionally Produced Nanomaterials*. 2007. <<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1872>>. Acesso em: 15 jul 2021. Citado na página 1.

CULLY, J. J. et al. Graphene nanogaps for the directed assembly of single-nanoparticle devices. *Nanoscale*, The Royal Society of Chemistry, v. 13, p. 6513–6520, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/D1NR01450A>>. Citado na página 4.

MARCONE, G. P. d. S. M. Nanotechnology and nanoscience: general aspects, applications and perspectives in the context of brazil. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, v. 7, n. 7, p. 1–24, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 2, 5 e 8.

PARK, S. et al. Eco friendly nanofluidic platforms using biodegradable nanoporous materials. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 3804, Feb 2021. ISSN 2045-2322. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-021-83306-w>>. Citado na página 4.

* <<https://unyleya.edu.br/>>

†jullyanolino@gmail.com

SOOD, H.; SRIVASTAVA, V.; SINGH, G. Advanced mosfet technologies for next generation communication systems - perspective and challenges: A review. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, v. 11, p. 180–195, 04 2018. Citado na página 4.

THOMAS, S. *Handbook of Carbon-Based Nanomaterials*. 1. ed. [S.l.]: Elsevier, 2021. ISSN 9780128219966. Citado na página 2.

WIKIPEDIA. *Nanomaterials*. 2021. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Nanomaterials>>. Acesso em: 15 jul 2021. Citado na página 1.

ZARBIN, A.; OLIVEIRA, M. Carbon nanostructures (nanotubes and graphene): Quo vadis? *Química Nova*, v. 36, p. 1533–1539, 12 2012. Citado 4 vezes nas páginas 3, 4, 5 e 8.

ZAYTSEVA, O.; NEUMANN, G. Carbon nanomaterials: production, impact on plant development, agricultural and environmental applications. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 3, n. 1, p. 17, Jul 2016. ISSN 2196-5641. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s40538-016-0070-8>>. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.

APÊNDICE A – Recursos Ilustrativos

Lista de ilustrações

Figura 1 – Classificação de nanomateriais de acordo com as suas propriedades físicas (MARCONE, 2015)	2
Figura 2 – Alótropos de carbono: a) grafite; b) diamante; c) fulereno; d) nanotubo de carbono de parede simples; e) nanotubo de carbono de parede múltipla; f) grafeno (ZARBIN; OLIVEIRA, 2012)	3