

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
DIEGO MOREIRA SOUZA  
LEONARDO TAKEO SHIMAZU SANTOS**

## **GRAFENO: Propriedades e Aplicações**

**Taubaté - SP  
2019**

**DIEGO MOREIRA SOUZA  
LEONARDO TAKEO SHIMAZU SANTOS**

## **GRAFENO: Propriedades e Aplicações**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador (a): Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Coorientador (a): Prof. Me. Paulo César Corrêa Lindgren

**Taubaté – SP  
2019**

**DIEGO MOREIRA SOUZA  
LEONARDO TAKEO SHIMAZU SANTOS**

**GRAFENO: PROPRIEDADES E APLICAÇÕES**

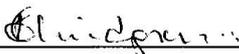
Trabalho de Graduação apresentado para  
obtenção do Certificado de Graduação do  
curso de Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica da  
Universidade de Taubaté.

DATA: 04/12/2019

RESULTADO: APROVADO.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de O. Lindgren      UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof. Me. Paulo César Corrêa Lindgren      UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

Prof. Me. José Carlos Savio de Souza      UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura: 

04 de dezembro de 2019

**SIBi - Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S729g

Souza, Diego Moreira

Grafeno: propriedades e aplicações / Diego Moreira Souza,  
Leonardo Takeo Shimazu Santos. – 2019.  
41f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento  
de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren,  
Departamento de Engenharia Mecânica.

Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento  
de Engenharia Mecânica

1. Aplicação. 2 Grafeno. 3 Propriedades. I. Santos, Leonardo Takeo  
Shimazu. II. Título. III. Graduação em Engenharia Mecânica

CDD 621.3

Ficha catalográfica elaborada por Angela de Andrade Viana – CRB-8/8111

Dedico este trabalho aos meus tios, Isao e Cirlene, aos meus avós, Eduardo e Maria Alice, a minha esposa Raissa e principalmente meu filho, Pedro, por nunca terem me deixado parar de acreditar. (Leonardo Takeo Shimazu Santos)

Dedico este trabalho a minha mãe Ana Lucia Moreira. (Diego Moreira Souza)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados

A minha orientadora, *Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren*, por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

A minha família, que nunca me deixaram desistir e sempre me apoiaram a seguir em frente

Aos Professores Me. Paulo César Corrêa Lindgren e Me. José Carlos Savio de Souza por aceitarem compor a banca examinadora.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se  
transforma.”  
(ANTOINE-LAURENT DE LAVOISIER)

## RESUMO

Antes meramente especulativo, o Grafeno tem se apresentado como um ótimo candidato para substituição do silício, cobre e outros materiais na produção de dispositivos. Suas propriedades elétricas, óticas, térmicas e mecânicas superam com ampla vantagem os materiais atualmente utilizados em larga escala para a produção dos mais diversos dispositivos. Entretanto, ainda são poucos os estudos sobre o material e não foram alcançadas tecnologias que permitam a obtenção do material com bom custo-benefício. Desta forma, através de revisão bibliográfica, o presente trabalho tem por objetivo apresentar as diferenças entre as principais propriedades do Grafeno, bem como suas possíveis aplicações. A metodologia escolhida para a realização dos procedimentos foi a de revisão sistemática da literatura, obtendo dados de bases de dados confiáveis. Além disso, o trabalho também busca disseminar o conhecimento sobre o grafeno, a fim de que mais pessoas se interessem por este assim chamado material do futuro.

**Palavras-chave:** Grafeno, Propriedades, Aplicação.

## **ABSTRACT**

Rather merely speculative, Graphene has presented itself as a great candidate to Silicon, copper and other materials substitution in devices production. Its electrical, optical, thermal and mechanical properties outperforms with wide advantage currently used in large scale materials to the production of the most several devices. However, there are still few studies about the material and haven't been reached yet technologies which allow obtaining the material with good cost-benefit. This way, through bibliographical review, the present work aims to present the differences between Grafeno's main properties, as its possibly applications. The choosed methodology for the realization of the procedures was the literature systematic review, obtaining data from reliable databases. Besides that, this work aims to disseminate the knowledge about graphene, so that more people get interested by this so-called future material.

**KEYWORDS:** Graphene, Properties, Application.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre as propriedades do grafeno e suas aplicações.....	14
Figura 2 – Representação de um dispositivo de célula de combustível.....	19
Figura 3 – Representação Esquemática do Mecanismo das Baterias de Ion-Li.....	20
Figura 4 – Representação da Multifuncionalidade do grafeno nos mais variados ramos da economia.....	21
Figura 5 – Representação esquemática da estrutura de uma célula solar.....	22
Figura 6 – Representação do processo de fabricação do compósito.....	23
Figura 7 – Interações entre os tipos de estruturas de grafeno e Níquel.....	23
Figura 8 – Representação do Processo de Esfoliação Química.....	31
Figura 9 – Método Deposição Química a Vapor.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

REP	Reprodução.
CVD	Deposição Química Por Vapor
FCC	Face Centered Cubic ( Cúbica de face centrada)
LIB	Lithium Ion Battery (Bateria de Ion-Lítio)
SPS	Sinterização por Plasma
DNA	Ácido Desoxirribonucleico

## LISTA DE SÍMBOLOS

NM	Nanomêtro
MPa	Megapascal
°C	Graus Celsius
N	Newton
Å	ångström

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 GRAFENO.....	15
2.1.1 PROPRIEDADES DO GRAFENO .....	16
2.2 APLICAÇÕES .....	18
2.2.1 APLICAÇÕES EM BATERIAS .....	18
2.2.2 USO DE COMPÓSITOS DE GRAFENO NA INDÚSTRIA.....	21
2.2.3 USO DO GRAFENO NA MEDICINA PERSONALIZADA .....	24
2.2.4 USO DO GRAFENO NA TRANSFORMAÇÃO DA ÁGUA DO MAR EM ÁGUA POTÁVEL.....	24
2.2.5 USO DO GRAFENO EM NOSSO COTIDIANO .....	27
2.3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE OBTENÇÃO .....	30
2.3.1 MICROESFOLIAÇÃO MECÂNICA.....	30
2.3.2 MICROESFOLIAÇÃO QUÍMICA .....	31
2.3.3 DEPOSIÇÃO QUÍMICA A VAPOR.....	32
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
4.1 ANÁLISE ACERCA DOS PROCESSOS DE SÍNTESE DO GRAFENO.....	35
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>573CX30J37</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Há 230 anos, Lavoisier descreveu, em sua obra *Tratado Elementar de Química*, 33 elementos químicos que constituiriam o que ficou conhecida como Tabela Periódica. Dentre esses elementos, o carbono se destacou aos olhos do autor em virtude de sua grande versatilidade, ilustrada pelo fato de este ser componente elementar tanto do diamante quanto do grafite.

Desde então, cada vez mais alótropos de carbono foram identificados e um número cada vez maior de pesquisadores passaram a investigar sobre esse elemento que pode formar estruturas tanto 3D, como diamantes e grafite, quanto 2D, a exemplo do grafeno.

Na realidade, embora as primeiras pesquisas sobre o grafeno datem de 1947 (WALLACE, 1947), suas conjecturas eram meramente especulações.

Foi somente em 2004, na Universidade de Manchester, que o grafeno foi descoberto de forma prática, por Andre Geim e Konstantin Novoselov, a partir de um estudo no qual desgastaram uma folha de grafite aos poucos, usando uma espécie de fita adesiva e, por meio do uso de uma solução, isolaram a camada de átomos, submetendo-a a posterior observação (GEIM; NOVOSELOV, 2004). Esse método, que resultou na entrega do prêmio Nobel de física para os autores, embora seja considerado razoavelmente simples, não pode ser utilizado para produção em grande escala, razão pela qual diversas pesquisas nos anos seguintes se propuseram a encontrar melhores formas de extração.

Nesse sentido, o grafeno é uma estrutura de átomos de carbono organizada em hexágonos, um ao lado do outro, formando uma camada que lembra uma colmeia (DRESSELHAUS; et al, 1995). Em virtude dessa contiguidade bidimensional, se trata de uma estrutura extremamente fina e leve, além de aspecto transparente. Sua composição oriunda puramente de carbono, por sua vez, torna o grafeno um material impermeável e resistente, podendo alcançar resistência 200 (duzentas) vezes maior que a do Aço (GRIFFANTE, 2019). O grafeno também pode ser considerado componente básico para as nanoestruturas de carbono, uma vez que sua flexibilidade permite a ele ser manipulado para que se transforme em outras formas de carbono.

Além disso, outros fatores que fazem do grafeno um dos materiais mais revolucionários são sua condutividade elétrica e térmica, oriundas de características intrínsecas das ligações entre seus elétrons, que permitirão ao grafeno substituir o silício na composição de eletrônicos e diversas outras aplicações (GRIFFANTE, 2019). Tais características, oriundas de sua cristalinidade, garantem ao material alta mobilidade dos carregadores de carga, no campo elétrico, além de uma aparência quase transparente e flexibilidade que podem torná-lo essencial para diversas áreas do conhecimento.

No que tange a sua aplicação, observa-se que além de possível alternativa ao silício, é possível que futuramente o grafeno venha a ser utilizado na fabricação de telas, baterias, processadores, sequenciamento genético, painéis solares, e até mesmo para isolamento acústico automobilístico (MENDONÇA, 2018).

A principal dificuldade enfrentada pela ciência em relação ao grafeno, no momento, é relacionada a sua extração, uma vez que ainda é bem difícil e onerosa. É imprescindível que se encontre uma forma de extraí-lo em ampla escala, sem prejuízo de seu grau de pureza. Existem dois métodos principais para a extração do material: um chamado de Deposição Química por Vapor (CVD) e outro utilizando-se de ultrassom e métodos de esfoliação mecânica ou química. Entretanto, enquanto na deposição obtêm-se um grafeno em filmes finos, com qualidade menor que a desejada, o outro é quase impraticável devido a seu alto custo.

Em virtude disso, o presente trabalho tem por esboço apresentar aspectos gerais acerca do grafeno, bem como revisar a literatura no que tange às suas formas de extração e possíveis aplicações, uma vez que pesquisas científicas em Universidades são essenciais para acelerar o processo de compreensão e extração em massa desse material que tem tanto potencial e possibilidades dentro das mais diversas áreas, tendo sido descrito por alguns como o futuro da tecnologia (PIVETTA, 2011). Como mostrado na figura 1.

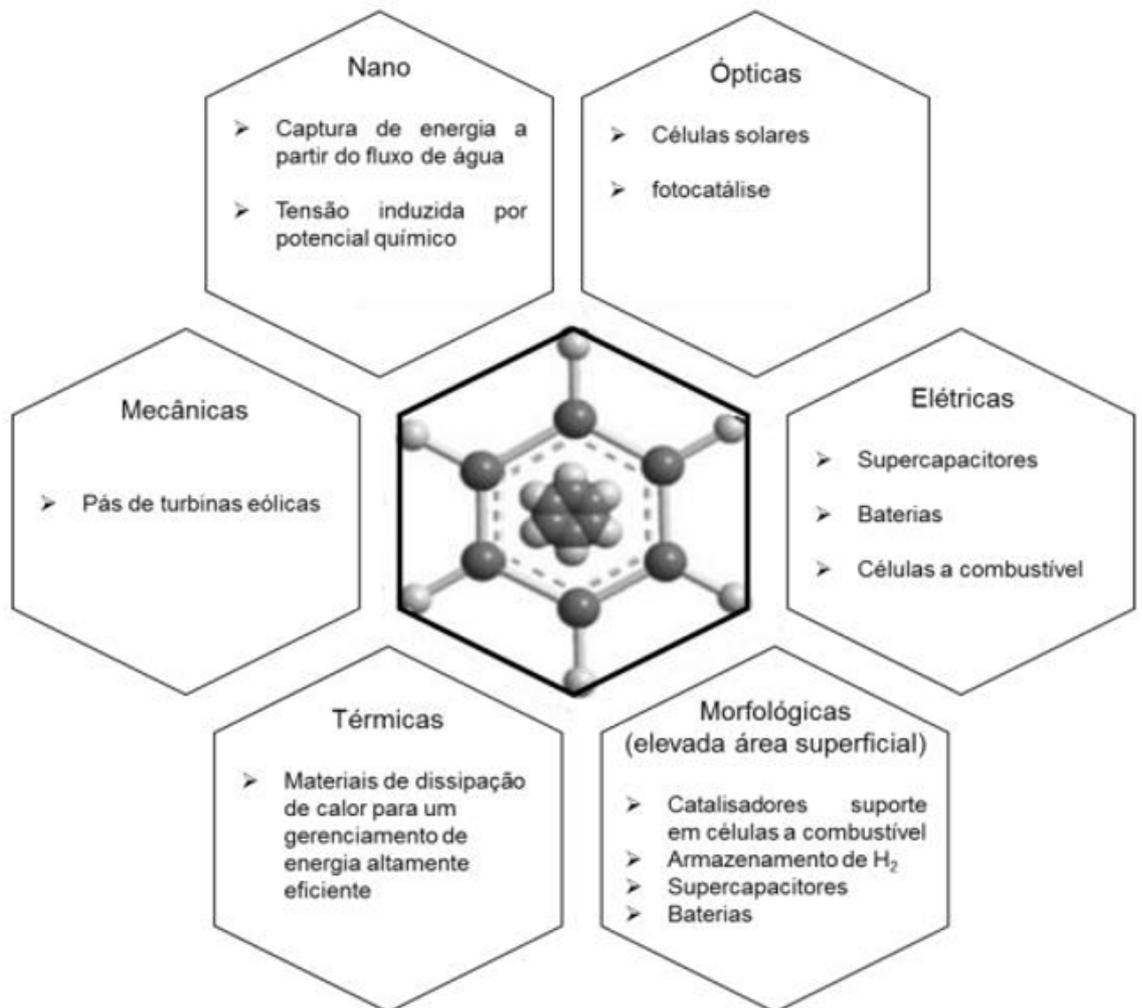


Figura 1 - Relação entre as propriedades do grafeno e suas aplicações. Fonte: Vieira Segundo; Vilar, 2017.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GRAFENO

O grafeno é um material bidimensional obtido através do carbono que, em virtude de sua espessura monoatômica, alcança uma espessura inferior a 1nm (MENDONÇA, 2018). Em outras palavras, o grafeno é uma folha plana de átomos de carbono compactados em uma grade de duas dimensões reunidos em estrutura hexagonal (HASAN; MARION, 2016). Isso demonstra uma ampla gama de possibilidades para o grafeno, uma vez que é consideravelmente menor que os materiais comumente usados nas mais diversas áreas, como o aço ou silício.

Embora seja formado puramente por carbono, como o diamante, esse alótropo do carbono tem alta condutividade elétrica, em função de um orbital  $sp^2$ , que se conecta por forças intermoleculares relativamente fracas aos átomos de carbono, em uma ligação Pi, de forma a possibilitar uma movimentação na rede cristalina (MENDONÇA, 2018). A isso chamamos estado eletrônico.

Essa hibridização  $sp^2$  faz com que os átomos de carbono presentes no material fiquem a  $d = 1,44\text{Å}$  de distância, em estrutura planar trigonal, conforme ensina Caetano (2017), o que garante resistência para a estrutura cristalina do material.

Além disso, segundo ALENCAR (2018), o formato do grafeno pode “ser considerado um bloco básico para construção de outros arranjos”. Isso deve-se ao fato do grafeno possuir estrutura simples e ter várias propriedades físicas. O que impede, por enquanto, a democratização do uso do material, são a falta de conhecimento técnico sobre sua utilização e a falta de técnicas de extração que estabilizem a questão econômica.

O Brasil ocupa o terceiro lugar entre os principais produtores mundiais de Grafita, composto conhecido por ser forma pura de carbono e que, embora seja utilizada comumente para o mercado de refratários, pode ter sua utilização adaptada para o uso em baterias, isolamento acústica de veículos e lubrificantes (ALENCAR; SANTANA, 2018).

### 2.1.1 PROPRIEDADES DO GRAFENO

Até 2005, acreditava-se que estruturas cristalinas não pudessem ser bidimensionais, conforme ensina Santos (2014). Entretanto, o grupo de Manchester observou que, em virtude de suas camadas fracamente ligadas, o grafeno possibilita a produção de novos cristais bidimensionais, de forma a abrir possibilidades para que cientistas possam, futuramente, manipular de forma quase irrestrita alótropos com a espessura de um átomo.

O grafeno, portanto, tem diversas propriedades físicas que o tornam promissor na substituição de diversos materiais utilizado em grande escala, como o silício. Dentre essas propriedades, destacam-se a condutividade elétrica e térmica, propriedade ótica e resistência.

Em se tratando de condutividade elétrica, o grafeno apresenta comportamento fluído dos elétrons, de forma a fazer com que a resistência elétrica do material caia progressivamente conforme o aumento de calor, desde que armazenado abaixo de  $-123^{\circ}\text{C}$  (KUMAR; et al, 2017), ao contrario do que comumente se espera de um condutor, uma vez que um aumento térmico tende a um crescimento na resistência elétrica. A análise desse fenômeno requer uma nova forma de interpretar a condutividade de materiais, e possivelmente ensejará uma nova gama de possibilidades para os dispositivos criados a partir desse material.

Ensina Vieira (2016):

“A condutividade térmica do grafeno em temperatura ambiente pode atingir  $5000 \text{ W/m.K}$  (para comparação, a do cobre é  $400 \text{ W/m.K}$ ), o que sugere usos potenciais para gerenciamento térmico em uma variedade de aplicações. Apresenta área superficial muito elevada ( $2600 \text{ m}^2/\text{g}$ ), muito maior do que as áreas superficiais do grafite ( $10 \text{ m}^2/\text{g}$ ) e nanotubos de carbono ( $1300 \text{ m}^2/\text{g}$ ).”

Como observado, a condutividade térmica do grafeno é consideravelmente maior que a do cobre, tornando o grafeno um ótimo candidato para materiais foto-eletrônicos, sistemas eletromecânicos e outros do gênero (HOU; et al, 2011).

Segundo Nascimento (2013), todos os materiais compostos de carbono apresentam um nível elevado de dureza e resistência, razão pela qual é esperado que o grafeno esteja em paridade com seus semelhantes, como o diamante e o grafite. Infelizmente, porém, é inviável, através dos métodos convencionais, aferir referidas propriedades, em virtude de suas dimensões microscópicas. A fim de solucionar o problema, resta-nos a utilização de métodos alternativos, como simulações, para averiguar as propriedades do material.

Ainda assim, a comunidade científica tem expectativas otimísticas em relação aos resultados. Nascimento (2013) observou, durante procedimento de nanoindentação, que uma simples folha de grafeno pode apresentar resistência de 120 Mpa.

Nesse sentido, LEE et al (2008), apresentaram, como resultado de estudo feito em paper para a revista Science, que uma folha de grafeno de espessura ínfima pode ser capaz de resistir ao peso de um elefante, ainda que este ocupasse a área de um lápis. Isso demonstra o quanto o grafeno pode ser resistente, e ainda reafirma a ideia de que pode ser 200 vezes mais resistente que o aço, conforme já mencionado.

Por outro lado, dada a sua alta resistência, ainda nos é muito difícil a manipulação do grafeno, uma vez que, segundo Santos (2014), embora o alótropo possa ser esticado aproximadamente 20% sem prejuízo de sua reversibilidade, seria necessária uma força de aproximadamente 3 $\mu$ N para que isso acontecesse, força esta bem superior à necessária para a manipulação de aço com a mesma espessura. Não obstante, segundo estudo realizado por James Hone (2008), a perfuração do material se mostra ainda mais difícil: a força necessária para perfurar um filme do alótropo medindo 0,1 mm de espessura por um lápis é de aproximadamente 20.000N.

Em relação a suas propriedades óticas, por sua vez, MENDONÇA (2018) descreveu que “os portadores de carga do grafeno[...] se movem a uma velocidade efetiva cerca de 300 vezes menor que a velocidade da luz. Podem ser considerados como elétrons com massa de repouso nula”. Isso se consubstancia em uma condutividade elétrica muito grande quando comparada aos demais materiais, o que hipoteticamente permitiria, futuramente, que baterias feitas através do material pudessem ser carregadas quase que instantaneamente.

Ainda nesse sentido, as propriedades óticas do grafeno permitem sua utilização na produção de Transistores para processadores, uma vez que, segundo LIN et al (2010), estes podem alcançar frequência máxima de 100 Ghz, valor muito superior ao obtido em transistores a base de silício ou mesmo germânio.

## 2.2 APLICAÇÕES

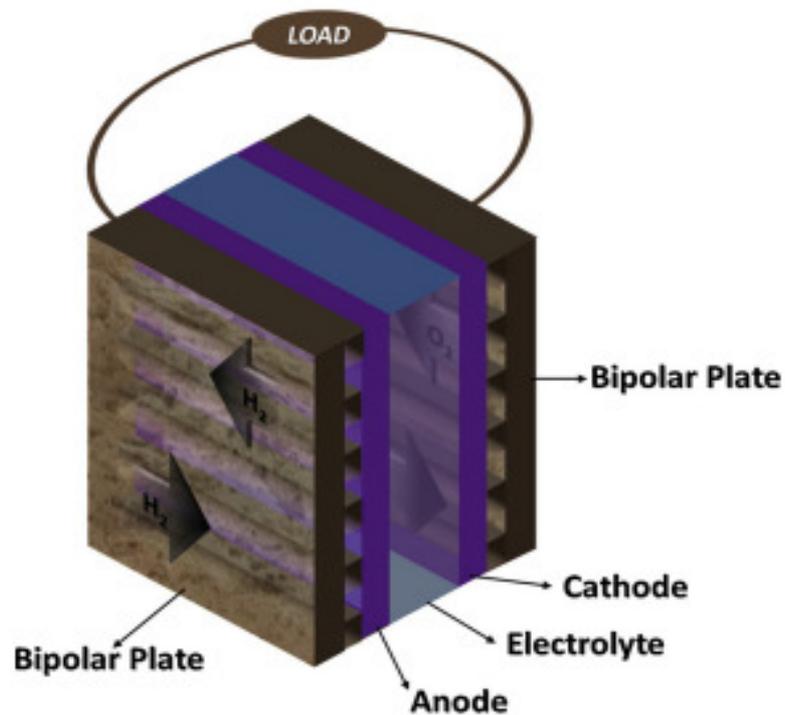
A seguir, se discutirão as principais possibilidades de aplicação do grafeno, de forma a elucidar a respeito das principais características do material.

### 2.2.1 APLICAÇÕES EM BATERIAS

Com o advento das nanoestruturas de carbono e da síntese de compósitos a base de grafeno, é possível a produção de equipamentos de menor dimensão com maior eficiência e rentabilidade. A existência de fontes renováveis e não renováveis de energia como gás natural, carvão e minerais estão progressivamente se esgotando e possuem algumas desvantagens atreladas à sua utilização, como alto custo de processamento e poluição.

Frente a esse desafio, o desenvolvimento de células de combustível eletroquímicas desempenha um papel significativo no fornecimento de energias renováveis (IQBAL et al, 2019).

Combustíveis e oxidantes ricos em hidrogênio são consumidos por esses dispositivos para produzir energia elétrica através de processos eletroquímicos. Iqbal et al. (2019) demonstraram o desenvolvimento recente de estruturas baseadas em grafeno para células de combustíveis duráveis, conforme ilustrado a figura 2 abaixo.



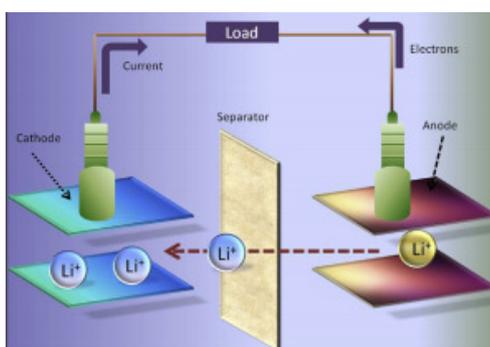
**Figura 2 - Representação Esquemática de um dispositivo de célula de combustível**

Fonte: IQBAL et al (2019)

Uma célula de combustível compreende três componentes principais, sendo dois eletrodos porosos entre placas bipolares e uma membrana eletrolítica em conjunto (IQBAL, 2019). Na representação esquemática, o combustível com hidrogênio é fornecido para o anodo poroso, no qual um catalisador realiza a divisão do hidrogênio em elétrons e um íon hidrônio. Os elétrons seguem o circuito externo até o catodo, enquanto o íon de hidrogênio penetra no eletrólito e reage com a superfície do catodo. Os eletrodos devem ser condutores eletrônicos, enquanto o eletrólito deve ser condutor iônico.

Os materiais mais usados nas placas bipolares são carbono grafite e polímeros condutores. A utilização de grafeno nesses componentes promove o aumento de condutividade eletrônica e iônica, alta estabilidade térmica e química, o que fazem ser escolhidos como materiais para eletrodos, para maior eficiência e durabilidade. Eletrólitos usados incluem poliestireno, polianilina, metacrilato de polimetil e polietilenodioxitiofeno (IQBAL et al, 2019).

Em 2019, o prêmio Nobel de Química foi para os pesquisadores criadores da bateria de Lítio, John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino, que compõem majoritariamente as baterias de telefones celulares e de uma vasta gama de produtos eletro-eletrônicos. Contudo, essas baterias só começaram a ser largamente utilizadas a partir de 1991, após a Sony lançar a primeira bateria Ion-Lítio (GAHLOT et al, 2019), a seguir representada pela figura 3.



**Figura 3 - Representação Esquemática do Mecanismo das Baterias de Ion-Li**

Fonte: GAHLOT et al (2019)

As LIB (Baterias de Íon-Lítio) funcionam através do princípio da reação de Faraday, podendo fornecer alta densidade de energia ( $\sim 120\text{e}150 \text{ Wh/kg}$ ), superiores a dos supercapacitores (GAHLOT, 2019). O eletrodo positivo é geralmente feito de fosfato de ferro e lítio ( $\text{LiFePO}_4$ ) enquanto o eletrodo negativo é feito de carbono (GAHLOT, 2019).

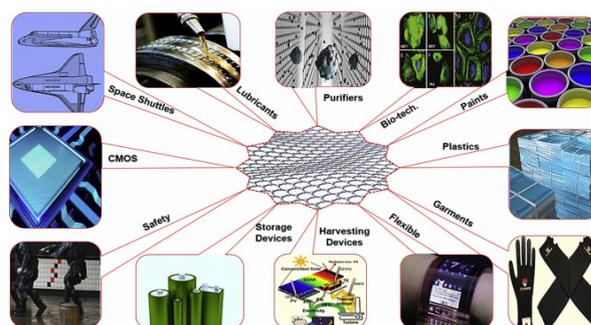
Nessa toada, o grafeno, enquanto material de eletrodo inovador, aparece como oportunidade de avanços no campo do armazenamento de energia eletroquímica, ainda que por enquanto configurações inteligentes e dispositivos supercondensadores ainda sejam os mais utilizados em se tratando de aumento no desempenho eletroquímico.

Em virtude de suas propriedades catalíticas eletroquímicas notáveis, os nanomateriais híbridos baseados em grafeno serão essenciais para a concepção de novos eletrocatalisantes, conforme preceitua Xia et al (2014).

Em outras palavras, modelos de gradiente de grafeno melhoram de forma considerável a vida útil de baterias de íon-lítio, o que pode possibilitar avanços significativos no que se refere ao armazenamento de energia sustentável.

Considerando que referidos avanços dependem, sobretudo, das propriedades estruturais utilizadas nas baterias, e que o gradiente de grafeno é extremamente prospectivo, observa-se um nicho a ser explorado: a utilização do grafeno na indústria de veículos elétricos.

## 2.2.2 USO DE COMPÓSITOS DE GRAFENO NA INDÚSTRIA

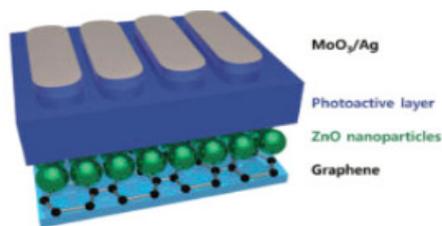


**Figura 4 - Representação da Multifuncionalidade do grafeno nos mais variados ramos da economia**

Fonte: IQBAL, 2008.

Conforme representado acima, Nanocompósitos de grafeno possuem um grande número de aplicações em diversas áreas da ciência, incluindo engenharia, medicina, energia e outras áreas tecnológicas que requerem eficiência atrelada a pequenas dimensões. O grafeno é um material bidimensional semicondutor, que exibe características elétricas e óticas notáveis, com mobilidade eletroforética efetiva ( $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ ), alta condutividade, estrutura única e alta resistência mecânica (IQBAL, 2019).

Em virtude de suas propriedades, referidos compósitos ganharam muita atenção quanto ao aprimoramento de células solares e células de combustíveis. Ouyang (2019) destacou as aplicações de nanotubos de carbono e grafeno na produção destes equipamentos, conforme observa-se na figura 5.



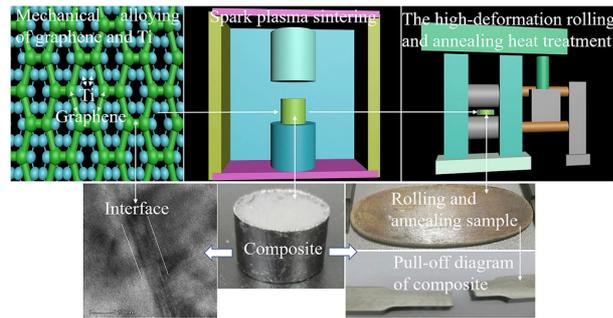
**Figura 5 - Representação esquemática da estrutura de uma célula solar.**

Fonte: OUYANG (2019)

O grafeno é utilizado como eletrodo transparente das células solares. Contudo, pode ser usado como cátodo ou ânodo usando diferentes materiais interfaciais entre o grafeno e a camada ativa (OUYANG, 2019).

No que tange a aplicações em estruturas metálicas, o grafeno é um ótimo candidato a revestimentos superficiais, isso porque é um composto impermeável e possui alta estabilidade química. Nos EUA, o gasto anual com manutenção de infraestrutura metálica em detrimento de corrosão ultrapassa \$276bi (duzentos e setenta e seis bilhões de dólares), valor este equivalente a 3.1% do PIB do país (KOCH et al, 2005), e que seria em grande parte economizado se o grafeno fosse utilizado como substituto para os materiais convencionais.

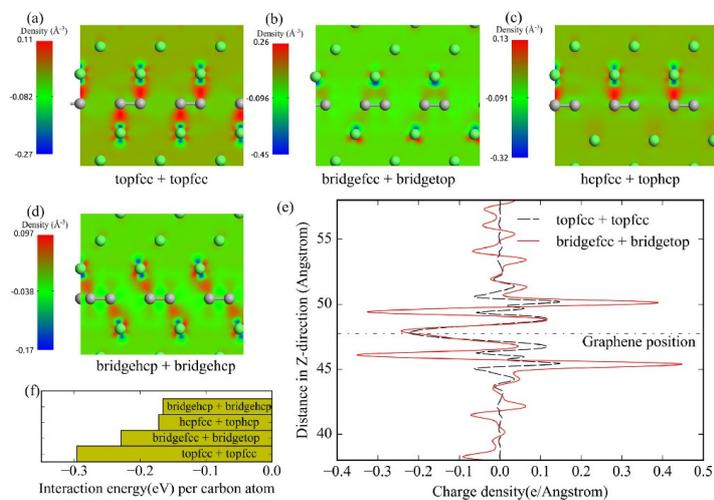
Ainda nesse sentido, observa-se que o grafeno também confere grandes propriedades mecânicas a compósitos de matriz metálica. Kumar (2019) realizou estudo sobre a microestrutura de compósitos de matriz de titânio reforçados com grafeno. Através do método SPS (Sinterização por Plasma), foi possível preparar nanoplaquetas de grafeno para reforçar a estrutura do material. Diante disso, foi possível concluir, após tratamento térmico de laminação, que os compósitos produzidos atingiram 1206MPa, que é 46% superior ao estado do Ti puro, que tinha um valor de 825Mpa (NANDANAPALLI et al, 2019). Assim, foi possível atribuir excelentes propriedades de resistência e plasticidade devido à presença dessa espécie na matriz. Vejamos abaixo a representação do processo de fabricação exemplificado a figura 6.



**Figura 6 - Representação do processo de fabricação do compósito**

Fonte: NANDANAPALLI et al (2019).

Interações com Níquel também foram estudadas por Agrawal (2019). Em seu estudo, descobriu que ao ser incorporado a matriz de níquel, a estrutura estável do grafeno muda para uma conformação atômica da rede cristalina (top-fcc), conferindo propriedades mecânicas interessantes ao material estudado, conforme evidenciado pela figura 7.



**Figura 7 - Interações entre os tipos de estruturas de grafeno e Níquel**

Fonte: AGRAWAL; et al (2019)

A imagem acima demonstra a diferença de densidade de carga ou a interação de densidade eletrônica do grafeno para diferentes casos. Com diferentes arranjos eletrônicos, torna-se possível a extração das propriedades desejadas para esse tipo de organização de estrutura.

### 2.2.3 USO DO GRAFENO NA MEDICINA PERSONALIZADA

A medicina personalizada é o ramo da medicina que defende que todo tratamento deve levar em consideração históricos do paciente, a fim de que sejam adaptados para as características individuais do paciente, de forma que a constituição genética de cada um possa contribuir para uma visão global do indivíduo.

A fim de que isso seja possibilitado, são necessárias formas mais práticas, econômicas e confiáveis de sequenciamento de DNA, razão pela qual a nanotecnologia e sequenciadores de grafeno têm sido propostos como aliados nessa seara, conforme suscitam Heerema e Dekker (2016).

### 2.2.4 USO DO GRAFENO NA TRANSFORMAÇÃO DA ÁGUA DO MAR EM ÁGUA POTÁVEL

Um time de cientistas na Universidade de Manchester, do Reino Unido, teve a brilhante ideia de produzir uma "peneira" feita de grafeno e tem a função de remover da água salgada as partículas de sal. Essa ideia pode auxiliar na vida de milhares de pessoas que são restritas a terem uma água limpa para consumo.

Este material tem formato cristalino derivado do carbono, igual ao diamante e o grafite.

A invenção feita pelos pesquisadores é proveniente químico, o óxido de grafeno, e permite ser altamente competente na filtragem dos detritos. Devera agora ser submetida a testes para ser comparadas a outros componentes com o mesmo fim que é a retirada de sal.

Os resultados obtidos desses testes foram publicados na científica Nature Nanotechnology.

A primeira vez que se ouviu falar do grafeno foi em 1962, mas não foi muito analisado até se ouvir falar de novo, obtidos por cientistas da Universidade de Manchester em 2004. Ele incide em uma membrana de átomos de carbono com espessura muito fina, constituída em um formato de treliça hexagonal.

Seus atributos que não são tão comuns, como sua resistência na elasticidade e a sua condução elétrica, transformando-o em um dos materiais mais propícios para serem aplicados em um futuro próximo.

Devido à falta de estudos feitos sobre o grafeno, as metodologias utilizadas, ainda são complexas e tem um custo alto para a sua produção em grande escala, como os usados em indústrias.

Rahul Nair, quem conduziu a análise, relata, entretanto, que o óxido de grafeno pode ser encontrado com mais facilidade em manipulações feitas cientificamente.

Ele relata que se pode aplica-lo em um material poroso e utiliza-lo feito uma membrana, se o mesmo estiver no formato de tinta ou solução. Se fosse analisar o custo do material e fabricação em grande quantidade, ele tem mais benefício em potencial do que o grafeno em uma camada. Para uma camada de grafeno se tornar permeável é necessário perfura-la com pequenos orifícios, porém estes não podem ultrapassar a medida de um nanômetro, pois pode ocorrer a passagem dos sais por eles. Para utilização na retirada do sal a membrana teria que ser produzida com orifícios extremamente uniformes, estes quais deveriam ter menor que um nanômetro. Devido a tudo isso, podemos perceber a dificuldade na produção da membrana.

As membranas que utilizam de óxido de grafeno mostraram que tem a capacidade de filtrar nanopartículas, moléculas orgânicas e até sais de cristais maiores. Até agora não foi possível utiliza-las para a filtração de sais comuns, sendo necessário peneiras maiores.

Pesquisas mais antigas Trabalhos anteriores apontavam que essas membranas de óxido de grafeno apresentavam um pequeno inchaço ao serem colocadas embaixo d'água, permitindo assim que partículas menores conseguissem ultrapassar seus poros junto com a água.

Atualmente, Rahul Nair e seus companheiros chegaram à conclusão que se utilizar camadas de resina epóxi na lateral da membrana de grafeno é satisfatório para interromper esse inchaço.

Permitindo aos pesquisadores acertar as características da membrana, passando mais ou menos detritos.

Até 2025, a ONU espera que 14% das pessoas do mundo inteiro sofrera com uma grande falta de água potável.

Enquanto as sequelas da alteração climática permanecem a diminuir os depósitos que fornecem água a população, outros países com uma economia melhor buscam o aperfeiçoamento desse processo de transformação de água salgada em água potável. para se ter outra opção.

Recentemente, usinas de dessalinização por todo o mundo utilizam membranas feitas com polímeros.

Rahul Nair ainda relata que tem como próxima missão fazer uma comparação desse oxido de grafeno e o material mais aprimorado encontrado no mundo.

Porem uma publicação da revista Nature Nanotechnology , o pesquisador Ram Devanathan, do Laboratório Nacional do Noroeste do Pacífico, nos EUA, informou que seria necessário mais pesquisas para alcançar, de fato, a produção dessas membranas valores baixos e em grandes escalas.

Conforme ele relata, o time de pesquisadores ainda necessita comprovar a resistência da membrana enquanto o frequente contato com a água salgada e garantir que ela é realmente resistente a acumulação de sais e de materiais biológicos - o acontecimento exige que essas peneiras sejam limpas ou trocadas em determinados períodos.

## 2.2.5 USO DO GRAFENO EM NOSSO COTIDIANO

Com muitas utilidades o grafeno promete ser o material do futuro, prometendo ajudar e inovar a tecnologia e o mundo da ciência.

A seguir citarei brevemente o uso deste material em materiais/situações em nosso dia a dia:

### Aperfeiçoamento de raquetes

O grafeno pode ser utilizado para a diminuição de peso considerável ao meio das raquetes. Isso acontece pois com a redistribuição, este pode ser deslocado do eixo para as margens, aderindo e trazendo mais funcionalidade pela técnica do grafeno.

### Resultar em água desintoxicada

Elementos radioativos da água podem ser removidos pelo óxido de grafeno, como apontam estudos realizados na Rice University a respeito do tema.

### Água Filtrada

Outro estudo aponta que, ainda que o grafeno seja praticamente impenetrável, a água possui capacidade de atravessá-lo, e desde modo este pode ser utilizado como filtro em seu favor, conforme estudo em Manchester.

### Embalagem de alimentos

Em Xangai, até mesmo para a proteção externa de produtos, impedindo a propagação de bactérias, exceto a água.

### Fabricação de preservativos

Justamente pela impermeabilidade, característica inerente ao grafeno, esta o fez como excelente para fabricação de preservativos, se tornando bastante relevante a indústria.

#### □ Transmissão de ondas FM

A criação de difusor de frequências moduladas, popularmente conhecidas como “FM”, fora realizada na Universidade de Columbia-EUA através, em sua menor versão, através da sua exploração.

#### □ Reparos de peças de aeronaves e automóveis

Devido sua grande resistência a diversos materiais, o tornando um bem durável e de peso inferior quando comparados a outras matérias primas, a indústria mecânica tem o utilizado também como fonte para ferramentas e itens.

#### □ Reforços de aparelhos telefônicos

Uma empresa de relevante renome na área tecnológica, realizou investimento bilionário (1,3 bilhões) em Experimentos com o produto. A Nokia vem acreditando na resistência do Grafeno como diferencial mercadológico, haja visto sua durabilidade e peso reduzidos.

#### □ Baterias superiores

Estudos da Richard Kaner, Califórnia, já demonstraram que o grafeno pode ser hábil a produzir baterias de eletrônicos, potencializando-os a recargas em tempo inferior a 15 segundos, com quantidades superiores de carga.

#### □ Internet rápida

Em Bach e Exter, já foram realizados projetos científicos com internet chegando a 100 vezes mais agilidade na transmissão de dados quando comparados a outros itens.

#### □ Obter energia

Painéis de grafeno estão sendo criados e estudos para obtenção de energia renovável.

#### □ Revelar segredos

A NASA tem utilizado telescópio em diversos lugares na via láctea, utilizando-se também da matéria do grafeno para a exploração e estudos relativos a biologia planetária.

#### □ Estudos com o DNA

O grafeno quando combinado a água, eletricidade e o DNA, tem sido um novo método utilizado por pesquisadores do Harvard e MIT, na região de Boston-EUA, para obtenção de um novo método de sequenciamento do material genético.

#### □ Troca de células da retina

Tecidos compostos de grafeno já foram utilizados em operações de substituição de células da retina (Technical University of Munich).

#### □ Espelhos inteligentes

Como bom condutor e incolor, a Faculdade de Exeter novamente ao explorar o grafeno, tem criado circuitos invisíveis para espelhos mais inteligentes.

#### □ Transferência de dados

Georgia Tech e seus pesquisadores, estão em processo de desenvolvimento de uma nova tecnologia de transferência de dados - a nível terabytes por segundo, através das antenas de grafeno.

#### ➤ Armazenamento de dados

O desenvolvimento de disco de grafeno, tem mostrado ser capaz de armazenar o triplo de dados de um Blu-ray, isto demonstrado por projetos da Swinburne University of Technology.

#### ➤ Papel

O grafeno como “papel” e “tinta” de elétrons. China e Dinamarca em estudos coletivos tem desenvolvido um microscópio, dando suporte a capacidade de arquivo de dados.

#### □ Chips mais rápidos

O silício e o grafeno quando aplicados juntos, tem potencializado os chips comuns que conhecemos, devendo ser disponibilizado em breve pela IBM.

#### □ Melhorar a visão

Lentes ultra-finas com capacidade de captar imagens infravermelho, indicando áreas de calor em ambientes corriqueiros. Este é o projeto da Universidade de Michigan, apostando na melhora da visão através da exploração do material.

Acima foram citadas algumas das usabilidades para o grafeno, porem são inúmeras as utilidades deste material para melhoria de diversos itens.

## 2.3 PRINCIPAIS MÉTODOS DE OBTENÇÃO

Segundo Guimarães et al (2012), até o presente momento as amostras de grafeno têm sido obtidas através de deposição química por vapor ou microesfoliação, química ou mecânica. Existem vantagens e desvantagens observáveis em cada um dos métodos, seja por facilidade no uso, qualidade do material extraído ou mesmo no que se refere ao escalonamento dessa obtenção.

### 2.3.1 MICROESFOLIAÇÃO MECÂNICA

O experimento que consagrou a descoberta do grafeno, em 2004, feito por Nolesev e Geim, foi realizado basicamente limpando uma superfície de grafite através do ato de grudar e desgrudar repetidas vezes uma fita adesiva. Referido movimento resultou por quebrar as forças de Van der Waals existentes entre as camadas do grafite, permitindo a síntese do grafeno. Ou seja, o experimento utilizou-se de microesfoliação mecânica.

Embora seja o método mais conhecido, dado ao fato de ter sido precursor dos métodos de isolamento do grafeno, a síntese por microesfoliação mecânica não é muito suficiente e envolve a saída de camadas de um cristal de grafite (CAETANO, 2017), através da esfoliação.

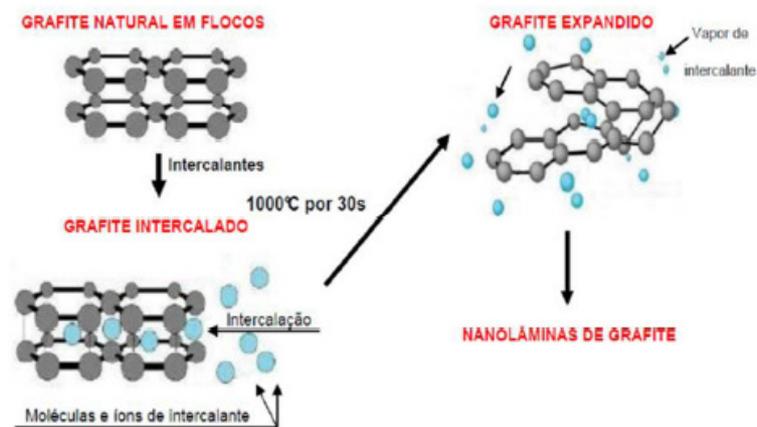
A força necessária para que a fricção quebre efetivamente as forças de Van der Waals existentes é da ordem de  $300 \text{ nN}/\mu\text{m}^2$ , bastando um ambiente limpo e fita

adesiva para sua realização, além de substrato de silício oxidado e os pedaços de grafite propriamente ditos (ARAUJO, 2017).

Dessa forma, fricciona-se uma ponta afiada de vídeo no grafite e deposita-se o material obtido no lugar desejado. Para SOLDANO (2010), o ponto forte dessa técnica está na possibilidade de escolha do lugar de deposição do grafeno. Em contrapartida, sua desvantagem reside na impureza do grafeno obtido, uma vez que é comum a cola da fita deixar resíduos, de forma que seja necessário o acréscimo de uma fase de tratamento químico ao processo, a fim de que sejam retirados os resíduos orgânicos.

### 2.3.2 MICROESFOLIAÇÃO QUÍMICA

Diferente da microesfoliação mecânica, que quebra as forças de Van der Waals através da fricção, essa técnica atinge esse fim através da aplicação de reagentes químicos nos espaços entre as camadas, em um processo de intercalação. A imagem 8 ilustra resumidamente o processo químico provocado.



**Figura 8 - Representação do Processo de Esfoliação Química**

Fonte: Castro (2011)

O uso desses reagentes proporciona o processo de expansão, normalmente através de um choque térmico provocando a dilatação da estrutura (MONTAGNA, 2010), para posteriormente ser submetido o grafite à esfoliação, desta vez utilizando energias de ultra-som, conforme descrito por Castro (2011).

Em virtude da ineficiência do método, novas formas de esfoliação química foram sugeridas, de forma que se estabeleceu como forma mais rápida e segura para obtenção do grafeno a dispersão do grafite em uma solução contendo ácido sulfúrico concentrado, nitrato de sódio e permanganato de potássio à 45°C, durante duas horas, em meio aquoso, de forma que a intercalação da água permita a dispersão e posterior reestabelecimento das propriedades do grafeno através da última etapa, que será de redução química, conforme ensina Guimarães (2012).

Vale ressaltar que a esfoliação química gera estruturas cristalinas com defeitos e as vezes não pura, razão pela qual ainda que tenha baixo custo e possa ser utilizada de forma ampla para obtenção de pó, não é eficiente para outras aplicações, uma vez que sua qualidade é baixa e pode prejudicar as qualidades eletrônicas do material, por exemplo (MONTAGNA, 2010).

### 2.3.3 DEPOSIÇÃO QUÍMICA A VAPOR

Já se especulava sobre a possibilidade de uso dessa técnica desde o início dos anos 1970, quando o grafeno era apenas especulação. Ainda que seja a mais antiga dentre as demais, dada a sua origem apenas teórica, tem baixo custo e mostra-se a melhor opção para síntese de grafeno escalonada (CASTRO, 2011).

Como o nome induz, a técnica consiste basicamente em, através da exposição de níquel ou cobre a um fluxo de gás de hidrocarbonetos em alta temperatura, obter a formação de um filme de metal de transição que catalizará a decomposição das moléculas de modo que formem o grafeno. Alternativamente, é possível a obtenção do grafeno, pelo mesmo procedimento, através do crescimento suportado em substratos metálicos, por exemplo, pela passagem de monóxido de carbono (SOLDANO, 2010). A imagem 9 ilustra esquematicamente o método de deposição química a vapor.

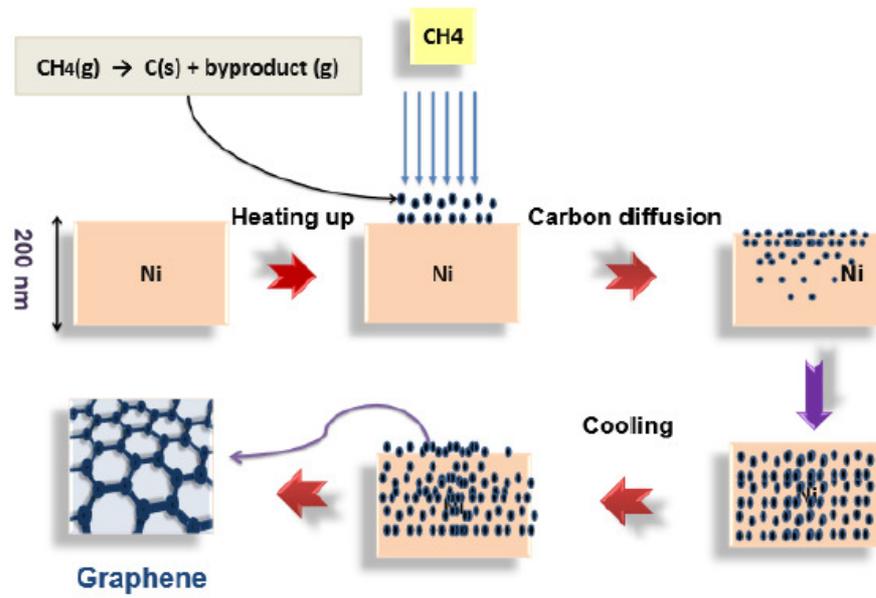


Figura 9 - Método Deposição Química a Vapor

Fonte: Caetano (2017)

### **3 METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão de literatura, de abordagem sistemática, com o objetivo de descrever e comparar as formas de produção do grafeno, bem como descrever sobre suas possíveis aplicações.

O presente estudo foi realizado por meio de acesso on-line as bases de dados SCIELO, Science Direct e Web of Science, utilizando-se palavras chave que fazem parte dos descritores: Grafeno, extração, produção, aplicações.

Os critérios de inclusão utilizados pelo estudo foram: artigos originais, na íntegra, publicados no período compreendendo 2000 a 2019. Estabeleceram-se como critérios de exclusão artigos que não atendiam aos objetivos da pesquisa e resumos.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE ACERCA DOS PROCESSOS DE SÍNTESE DO GRAFENO

Neste capítulo, foram analisados os três métodos de síntese de grafeno mencionados no trabalho, quais sejam a microesfoliação mecânica, microesfoliação química e deposição química por vapor, a fim de avaliar qual deles apresente melhores índices de viabilidade, considerando características técnicas e econômicas, para utilização em larga escala, de acordo com a revisão da literatura.

Em relação a microesfoliação mecânica, que é a mais simples dos três e dispensa equipamentos caros, bastando apenas a utilização de fita adesiva e grafite, observa-se que a aplicação em larga escala é inviável, uma vez que demandaria muita mão de obra para poucas amostras. Entretanto, conforme explica Noorden (2012), apresenta altos níveis de qualidade, razão pela qual pode ser utilizada para obtenção de grafeno para utilização em materiais que exijam certo grau de pureza.

Economicamente falando o uso do processo não é viável, uma vez que, ainda que o material seja barato, o processo precisa ser feito manualmente, razão pela qual o custo/benefício que o produto chegaria no final, para venda, se tornaria ruim no geral.

A microesfoliação química, por sua vez, supera a mecânica em termos de escala, uma vez que o processo se dá através de reações químicas e não manualmente. Embora a qualidade não seja elevada, como na técnica anterior, ainda é possível que se alcance um nível de pureza médio, uma vez que o processo de redução química pode eliminar parte dos defeitos, conforme ensina Guimarães (2012).

Em termos de custo/benefício consideramos bom, uma vez que pode ser executado de forma abrangente em virtude de se tratar de processo químico e ao mesmo tempo não depender substancialmente de maquinário. Entretanto exige conhecimento técnico maior por parte dos executores, em detrimento do uso de substâncias tóxicas e altas temperaturas.

Acredita-se que dentre as três técnicas, a que demonstra maior efetividade para o futuro seja a Deposição Química por Vapor, uma vez que é possível

padronizar a película de níquel ou cobre, a fim de que o processo seja mais facilmente repetível em outros lugares, conforme se extrai de Montagna (2010).

Em termos de qualidade, observa-se que através da padronização dos processos é possível alcançar uma qualidade relativamente boa do grafeno, de forma a atingir as necessidades do mercado. O ponto que merece atenção e deve ser trabalho no que diz respeito a qualidade é em como encontrar alternativas para o transporte do grafeno para outros materiais, em virtude da forte interação entre o grafeno e metais em geral, conforme ensina Soldano et al (2010), restando-nos classificar a aplicação do grafeno por este método em larga escala como ruim.

Não obstante, economicamente por hora não é viável a utilização em larga escala deste processo, já que exige diversos equipamentos cujos preços, além de não serem amigáveis, variam de acordo com o tamanho do substrato, conforme explica Araujo (2017).

Por fim, embora a Deposição Química por Vapor aparente ser a melhor técnica para o futuro, atualmente o processo mais viável é o de microesfoliação química, uma vez que é de aplicabilidade relativamente boa e apresenta baixo custo. É possível que, com a difusão do uso do grafeno, esse cenário possa mudar.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com a presente pesquisa foram consideravelmente satisfatórios, uma vez que, ainda que o estudo do grafeno ainda esteja em seus passos iniciais, é possível observar um leque de possibilidades para a aplicação do material.

Foi possível, através da presente pesquisa, apresentar noções iniciais acerca das propriedades elétrica, térmica, mecânica e ótica do material, que apresentam diferenças consideráveis entre os materiais comumente utilizados para a produção de eletrônicos e afins.

Conforme observado, o uso de grafeno, ao longo do tempo, poderá trazer avanços para a tecnologia, uma vez que existe em abundância e pode substituir diversos materiais como o silício, que é a base de todos os eletrônicos, tendo até sido utilizado para nomear o Vale do Silício, centro de informática do mundo.

Os benefícios encontrados no Grafeno alcançarão as mais diversas áreas, desde a saúde, quando da sequenciação de DNA, passando pelos eletrônicos, alcançando maior resistência e condutividade elétrica que o silício, até mesmo alcançando a indústria automobilística, uma vez que através dele é possível alcançar um melhor isolamento acústico em relação ao conseguido com os materiais utilizados atualmente em grande escala, além de proporcionar menor peso.

## 6 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Marcos Antonio Pedreira Junior. LOBATO, Ana Katerine de Carvalho Lima. O Grafeno: Meios de Obtenção e Possíveis Aplicações na Indústria Automotiva. UNIFACS, v. 16, 2017. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa/article/view/4855/3292> Acesso em: 01 dez. 2019

CAETANO, Rangel Cardoso. Grafeno: Características, Propriedades e Aplicações. Centro Universitário de Formiga: Formiga, 2017.

CASTRO, Manuela Oliveira de. Síntese de Grafeno Pelo Método CVD. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Ceará: Fortaleza, 2011.

Dresselhaus, M. S.; Dresselhaus, G.; Eklund, P. C.; Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes. Academic Press: San Diego, 1995. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=T8NLqyOMZ50C&oi=fnd&pg=PP2&ots=FbVX7oVICx&sig=zPFo3fJ6aM-w4LhK2gxAFLikiVE&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=T8NLqyOMZ50C&oi=fnd&pg=PP2&ots=FbVX7oVICx&sig=zPFo3fJ6aM-w4LhK2gxAFLikiVE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em: 21 out. 2019.

GAHLOT, S; KULSHRESTHA, V. Graphene based polymer electrolyte membranes for electro-chemical energy applications. International Journal of Hydrogen Energy, 2019. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.06.047

GRIFFANTE, Ariel Rossi. Produzindo o Futuro. Revista UCS. Caxias do Sul, n. 29, 2019, p. 08-11. Disponível em: [https://issuu.com/591181/docs/revistaucs\\_-\\_ed\\_29\\_vers\\_o\\_online](https://issuu.com/591181/docs/revistaucs_-_ed_29_vers_o_online) Acesso em: 22 out. 2019.

GUIMARÃES, Maria José O. C; FREIRE, Estevão; JESUS, Karla Acemano. Grafeno: Aplicações e Tendências Tecnológicas. Revista de Química Industrial, v. 737, p. 14, 2012. Disponível em: <https://www.abq.org.br/rqi/2012/737/RQI-737-pagina14-Grafeno-Applicacoes-e-Tendencias-Tecnologicas.pdf> Acesso em: 28 nov. 2019

HASSAN, Nasser Mahmoud; MARION, Bianca Dall Gallo. Grafeno: Inovações, Aplicações e sua Comercialização. Revista Interfaces Científicas, v.2, n.1, 2006. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/exatas/article/view/2778>  
Acesso em: 27 out. 2019

HEEREMA, Stephanie J.; DEKKER, Cees. Graphene Nanodevices for DNA Sequencing. Nature Nanotechnology, v. 11, n. 2, p. 127-136, 2016.  
<https://doi.org/10.1038/nnano.2015.307>

HONE, Jonas. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer grapheme, p. 385-388, Columbia: 2008.

HOU, Junbo; SHAO, Yuyan; ELLIS, Michael W.; MOORE, Robert B.; YI, Baolian. Graphene-based electrochemical energy conversion and storage: fuel cells, supercapacitors and lithium ion batteries. Physical Chemistry Chemical Physics, n. 34, 2011. Disponível em:  
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2011/cp/c1cp21915d#!divAbstract>  
Acesso em: 03 nov. 2019

IQBAL, M. Z.; SIDDIQUE, S.; KHAN, A.; HAIDER, S. S.; KHALID, M. Recent Developments in Graphene Based Novel Structures for Efficient and Durable Fuel Cells. Materials Research Bulletin, 2019. doi:10.1016/j.materresbull.2019.110674

LAVOISIER, Antoine-Laurent. Tratado Elementar de Química. 1 Ed. São Paulo: Madras, 2006.

KOCH, Gerhardus H; BRONGERS, Michiel P. H; THOMPSON, Neil G. Corrosion Costs and Preventure Strategies In The United States. Handbook of Environmental Degradation of Materials. William Andrew: New York, 2005. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815515005500033?via%3Dihub>  
Acesso em: 25 nov. 2019.

KUMAR, R. Krishna; BANDURIN, D. A.; PELLEGRINO, F. M. D.; CAO, Y.; PRINCIPI, A. GUO, H., GEIM, A. K. Superballistic flow of viscous electron fluid through graphene constrictions. *Nature Physics*, v. 13, n. 12, 2017, p. 1182-1185. doi:10.1038/nphys4240

LAVOISIER, Antoine-Laurent. *Tratado Elementar de Química*. 1 Ed. São Paulo: Madras, 2006.

LEE, Changgu; WEI, Xiaoding; KYSAR, Jeffrey W. & HONE, James. Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*, v. 321, n. 5887, 2008, p. 385-388. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/321/5887/385> Acesso em: 29 out. 2019

LENCAR, Eduardo; SANTANA, Delano. *Processos de Obtenção do Grafeno, Suas Aplicações e Sua Importância para o Brasil*. Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz. Disponível em: [http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao\\_16\\_ALENCAR\\_Eduardo.pdf](http://revista.oswaldocruz.br/Content/pdf/Edicao_16_ALENCAR_Eduardo.pdf) Acesso em: 26 out. 2019.

MENDONÇA, Leonardo Henrique Paiva. *Grafeno e a sua Produção a Partir da Grafita Natural*. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2018. Disponível em: <http://www.demin.ufmg.br/tcc/00007.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019

MONTAGNA, L. S. *Síntese de Nanocompósitos de polipropileno/grafite Obtidos Por Meio da Polimerização in situ*. Dissertação (Mestrado). Curso de Mestre em Engenharia e Tecnologia dos Materiais. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul: 2010.

NANDANAPALLI, Koteeswara Reddy; MUDUSU, Devika; LEE, Sungwon. Functionalization of graphene layers and advancements in device applications. *Carbon*, v. 152, 2019, p. 954-985. DOI 10.1016/j.carbon.2019.06.081

OUYANG, Jianyong. Applications of Carbon Nanotubes and Graphene for Third-generation solar cells and fuel cells. *Nano Materials Science*, v. 1, n. 2, 2019, p. 77-90. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589965119300145?via%3Dihub>  
Acesso em: 25 out. 2019.

PIVETTA, Marcos. Grafeno na Nova Eletrônica. *Pesquisa FAPESP*. 184 Ed. 2011. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2011/06/20/grafeno-na-nova-eletr%C3%B4nica/> Acesso em: 23 out. 2019

SOLDANO, Caterina; MAHMOOD, Ather; DUJARDIN, Erik. Production, Properties and Potential Of Graphene. *Carbon*, v. 48, n. 8, p. 2127-2150, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622310000928> Acesso em: 01 dez. 2019

VIEIRA, J. E. D. Segundo; VILAR, E. O. Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 11, n. 2, 2016, p. 54-57. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/493/387> Acesso em: 01 nov. 2019

WALLACE, Philip R. The Band Theory of Graphite. *Physical Review*, v. 71, n. 9, 1947, p. 622-634, doi10.1103/PhysRev.71.622

XYA, Bao Yu; YAN, Ya; WANG, Xin; LOU, Xiong Wen. Recent Progress on Graphene-based Hnrid Electrocatalysts. *Materials Horizons*, v. 1, p. 379-399, 2014. <https://doi.org/10.1039/C4MH00040D>

<https://exame.abril.com.br/ciencia/35-usos-que-mostram-porque-o-grafeno-e-algo-revolucionario/>

<https://www.google.com.br/amp/s/www.bbc.com/portuguese/amp/geral-39483587>