

**Grafeno e a sua relação com super e semicondutores.**

***Graphene and its relation to super and semiconductors.***

João Vitor Falco Cardoso<sup>1</sup>; João Vitor Gozzo Bruschi<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru/SP, Brasil.

E-mail (autores principais): [jvitorfcardoso@gmail.com](mailto:jvitorfcardoso@gmail.com); [joao.bruschi@outlook.com.br](mailto:joao.bruschi@outlook.com.br)

## **RESUMO**

A Tabela Periódica, na teoria, está completamente preenchida, com os mais diversos tipos de elementos, porém, sabe-se que há alguns compostos, atualmente, que são formas alotrópicas daqueles que conhecemos e que trazem um grande benefício e novas aplicações para as indústrias. Partindo-se desse ponto, o Grafeno, por exemplo, é uma forma alotrópica do carbono que possibilita algumas utilidades em materiais diversos devido as suas propriedades, propiciando avanços consideráveis na ciência. Concomitante a isso, como as inovações na ciência não param, um ponto que merece destaque são os super e semicondutores, os quais possibilitam uma maior velocidade na transferência de cargas elétricas. Assim, é a partir dessa relação, entre o grafeno e os condutores, que precisa haver um destaque maior, pois, sabe-se que há a possibilidade de criar dispositivos com características diferentes nesse tipo de aplicação. Desse modo, essa junção será estudada e desenvolvida, de modo teórico, ao decorrer do trabalho, a fim de analisar e entender como essa relação pode influenciar nesse ramo da tecnologia para poder desenvolver algo melhor e diferente, analisando as suas aplicabilidades no cenário mundial atual.

**Palavras-chave:** Alotrópica. Materiais. Ciência. Tecnologia.

## **SUMMARY**

*The Periodic Table, in theory, is completely filled with the most diverse types of elements, however, it is known that there are some compounds, currently, that are allotropic forms of those we know and that bring great benefit and new applications to industries. Starting from this point, Graphene, for example, is an allotropic form of carbon that enables some uses in different materials due to its properties, providing considerable advances in science. Concomitant to this, as innovations in science do not stop, a point that deserves to be highlighted are the super and semiconductors, which allow a greater speed in the transfer of electrical charges. Thus, it is from this relationship, between graphene and conductors, that there needs to be a greater emphasis, since it is known that there is the possibility of creating devices with different characteristics in this type of application. In this way, this junction will be studied and developed, theoretically, throughout the work, in order to analyze and understand how this relationship can influence this branch of technology in order to develop something better and different, analyzing its applicability in the current world scenario.*

**Keywords:** Allotropic. Materials. Science. Technology.

## INTRODUÇÃO

A Tabela Periódica foi desenvolvida e apresentada a comunidade científica em 1869, através do pesquisador e químico russo Dmitri Mandeleev (1834-1907) (CHÉROLET,2020). Esse químico teve a sua grande relevância, pois organizou a tabela dos elementos químicos pela primeira vez seguindo a ordem de seus pesos atômicos, além de deixar como contribuição também um manual de química orgânica. Para desenvolver a tabela, Mandeleev estudou as propriedades dos elementos também, e estruturou eles dispostos em filas horizontas, de acordo com as massas atômicas crescentes, e em colunas verticais, com elementos de propriedades semelhantes (WTICHEMICHEN, 2018).

Tendo o conhecimento da Tabela Periódica, novas informações foram surgindo constantemente, uma delas são as formas alotrópicas de alguns materiais. Um desses que merece destaque é o Carbono, devida a sua capacidade de formar tantos compostos com as mais variadas propriedades faz dele um elemento singular na natureza. A hibridação dos seus orbitais permite formar desde ligações simples até triplas, e assim suas formas hibridizadas permitem que o carbono apresente diversas formas alotrópicas, ou seja, diferentes formas do mesmo elemento no mesmo estado (OLIVEIRA,2020).

Um desses alótropos é o Grafeno, que segundo Marin (2021), é considerado o material mais resistente já conhecido, cerca de 200 vezes mais forte que o aço, e essa resistência é devido as fortes ligações formadas de carbono do grafeno. Outras características que tornam o grafeno ser um material tão atrativo é a sua espessura, ele é extremamente fino, além de ser transparente, elástico e não enferruja. Porém algo que também chama a atenção no grafeno é a sua capacidade de conduzir eletricidade e calor muito melhor do que qualquer outro componente. Por fim, para somar-se a essas características, o grafeno possui um baixo custo de produção, e concomitantemente a isso, o Brasil possui as maiores reservas de grafeno do mundo e já está desenvolvendo suas pesquisas tecnológicas sobre esses componentes de grafeno.

É nesse ponto de pesquisas e avanços tecnológicos que a questão dos condutores se torna extremamente importante. Sabe-se que existem os supercondutores, que são materiais que perdem a resistência à corrente elétrica quando estão abaixo de uma certa temperatura (BRANÍCIO, 2001). Os supercondutores estão constantemente sendo pesquisados e buscando novas aplicações para o uso das suas propriedades, devido a sua resistência elétrica nula, inexistente, praticamente, o tornam vantajosos o seu uso, porém ainda faltam muitas pesquisas, descobertas e avanços para se fazer nessa área (FERREIRA, 2015).

Com relação a outro avanço tecnológico presente no cenário atual, esse mais sólido, existem os dispositivos semicondutores, os quais são a base da eletrônica atual. As propriedades dos semicondutores são conhecidas e utilizadas em vários tipos de ramos industriais, sejam desde a eletrônica, até os de energia solar. Esses materiais são extremamente importantes, devido a

suas características de se comportarem como isolantes elétricos, mas também, devido a alguns processos, se tornarem materiais com características condutoras, o que os tornam atrativos valiosos para o mercado global (RIBEIRO, 2013).

Desse modo, uma análise mais precisa da junção dessas tecnologias se tornam cada vez mais atrativo para o cenário global e assim criar uma inovação tecnológicas, que une o grafeno, por possui características que podem influenciar de uma maneira positiva tanto na funcionalidade, quanto no custo-benefício e em outros aspectos importantes dos semi e supercondutores. Portanto, tem-se a seguinte questão: “O alótropo de carbono Grafeno tem capacidade e funcionalidade suficientes para se tornar o maior uso na criação dos semi e supercondutores a um longo prazo?”.

O desenvolvimento de um estudo sobre um dos alótropos de carbono, no caso o Grafeno, possibilitará um maior entendimento a respeito desse material tão útil e dinâmico, no ramo específico de materiais condutores, os quais não possuem, hoje, tantos artigos a respeito. Com isso, podendo viabilizar novos rumos para as suas aplicações industriais, desde pequena até em larga escala, servindo como uma base teórica de pesquisa do Grafeno, para outros pesquisadores ou companhias que já usam ou estão buscando utilizar esse material. Desse modo, o trabalho tem grande importância por possibilitar informações sobre a relação do Grafeno com supercondutores e semicondutores, diante disso, servindo como um bom referencial teórico e prático a respeito dessa relação.

O objetivo geral deste trabalho compreende em fornecer um estudo sobre a relação do Grafeno com Super e Semicondutores, de uma maneira geral, entendendo desde as propriedades mais básicas do Grafeno até a sua aplicação prática no ramo de condutores, desse modo fomentando um caminho sólido para se obter novas informações a respeito desse tipo de material e sua aplicação.

## **METODOLOGIA**

O estudo o qual foi realizado tem caráter qualitativo, segundo Coelho (2019), tem como objetivo de pesquisa entender a explicação de um fenômeno. No caso entender toda a fundamentação teórica acerca da utilização do Grafeno como semicondutores e supercondutores para compreender a viabilidade dessa utilização. Para realizar qualquer tipo de pesquisa, é preciso que exista um grande conhecimento para se compreender o que está sendo analisado durante a pesquisa. (DA SILVA; LOPES; SILVA BRAGA JUNIOR, 2014). Assim, é preciso que o estudo tenha vários pontos de vista relevantes, com os diferentes dados e informações para se entender a dinâmica do fenômeno, partindo de questão amplas que ao longo da investigação, no estudo qualitativo, vão tomando novos rumos (GODOY, 1995).

Outro ponto importante, é que a pesquisa realizada tem por natureza ser do tipo básica, objetivando avanços da ciência, por meio de questões teóricas através de uma revisão bibliográfica (COELHO, 2019).

Por fim, a pesquisa do grafeno com relação a super e semicondutores tem como característica ser do tipo exploratória, algo como um levantamento bibliográfico e estudo de caso para entender a viabilidade e outros aspectos dessa relação (COELHO, 2019).

## DESENVOLVIMENTO

### *Definição de grafeno e suas propriedades*

De acordo com Jesus et al. (2012), o termo “grafeno” foi utilizado pela primeira vez em 1987, no entanto, a definição oficial foi fornecida pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) em 1994. Embora estudos sobre o material já estivessem sendo realizados nessa época, foi somente em 2004 que pesquisadores conseguiram esfoliar pequenos fragmentos de grafite e, por meio de análises mais aprofundadas de caracterização, constataram que se tratava de uma estrutura composta por uma única camada de átomos de carbono. Quanto às dimensões da estrutura do grafeno, observa-se que ela é composta por átomos de carbono com distribuição eletrônica  $sp^2$ , ligados e dispostos em um retículo bidimensional. O grafeno possui uma rede cristalina de dois subretículos interceptados, em forma triangular.

Essa estrutura confere ao grafeno uma série de propriedades físicas e químicas únicas que o tornam um material de grande interesse científico e tecnológico. Ele se consiste em uma única camada de átomos de carbono, com uma espessura de apenas um átomo. Essa característica confere ao grafeno uma dimensão extremamente reduzida, tornando-o um material bidimensional.

Conforme ressaltado por Baing, Kammakakam e Falath (2021), devido às propriedades intrínsecas do grafeno, esse nanomaterial tem o potencial de promover inovação em setores específicos, como o desenvolvimento de baterias, devido à sua natureza extremamente fina e excelente resistência mecânica. De acordo com Woodford (2021), o grafeno demonstra uma notável versatilidade, sendo considerado mais revolucionário do que os materiais tradicionais. Além disso, é possível substituir completamente o silício, amplamente utilizado na fabricação de diversos dispositivos tecnológicos. Essa substituição proporcionaria ao objeto produzido maior resistência, leveza, transparência e flexibilidade.

Com base em Segundo e Vilar (2016), o grafeno possui uma condutividade elétrica de até 20.000 S/cm e uma mobilidade eletrônica cerca de 100 vezes maior do que a do silício. Essas características conferem uma massa quase nula à monocamada de grafeno. Em termos simples, os elétrons na camada de grafeno se comportam como partículas sem massa, movendo-se com

velocidades aproximadas de 1.000.000 m/s. Essas propriedades são responsáveis por tornar o grafeno o material mais fino e mais resistente já medido no universo, com um módulo de Young de 1 TPa (extremamente alto) e a maior resistência intrínseca já registrada, aproximadamente 130 GPa.

Conforme destacado por Segundo e Vilar (2017), a condutividade térmica do grafeno, à temperatura ambiente, pode atingir 5000 W/m.K, superando significativamente a do cobre, que é de 400 W/m.K. Além disso, a área superficial do grafeno é de aproximadamente 2600 m<sup>2</sup>/g, centenas de vezes maior do que a do grafite (10 m<sup>2</sup>/g) e duas vezes maior do que a do nanotubo de carbono. O grafeno também apresenta propriedades ópticas, como a transparência quase total, absorvendo apenas uma fração de luz de aproximadamente 2,3%. Essa característica óptica está intimamente relacionada às suas propriedades eletrônicas e à sua estrutura eletrônica de baixa energia. Por esse motivo, o grafeno exibe uma sintonia de propriedades ópticas ultrarrápidas.

O grafeno é quimicamente estável devido à forte ligação covalente entre seus átomos de carbono. Ele é resistente a agentes oxidantes, ácidos e bases, o que o torna um material altamente durável (BRUNIA, HWANG, MIN, 2011).

Ele também exibe uma baixa reatividade química devido à sua estrutura planar e a forte ligação entre os átomos de carbono. No entanto, é possível funcionalizar o grafeno introduzindo grupos químicos em sua superfície, o que amplia suas aplicações em diferentes áreas. O grafeno tem a capacidade de adsorver moléculas na sua superfície. Essa propriedade é explorada em aplicações como sensores químicos e catálise (BERGER, SONG, LI, 2004).

Devido a essas características únicas, o grafeno tem um vasto potencial de aplicação em áreas como eletrônica, energia, medicina, materiais compósitos e muitas outras. Seu estudo e desenvolvimento estão em andamento, abrindo novas perspectivas para inovações tecnológicas em diversas áreas.

### ***Definição de super e semicondutores***

A pesquisa e o estudo da propriedade elétrica dos materiais são de suma importância, considerando sua relevância na determinação da capacidade de condução de corrente elétrica. A condutividade elétrica representa o caráter elétrico de um material, e os materiais podem ser categorizados em isolantes, condutores, supercondutores e semicondutores com base nessa propriedade. Semicondutores são materiais que possuem propriedades elétricas intermediárias entre condutores e isolantes. Eles são essenciais na fabricação de dispositivos eletrônicos, como transistores, diodos e circuitos integrados. A compreensão aprofundada dos semicondutores envolve suas características estruturais, elétricas e químicas (PEREIRA, 2021); (RODRIGUES, 2021).

De acordo com Rodrigues (2010), os materiais semicondutores desencadearam um avanço significativo na indústria eletrônica, resultando em uma revolução nos campos da computação e da eletrônica. Dentre os dispositivos desenvolvidos com base nesses materiais, destacam-se os diodos, diodos emissores de luz (LEDs), transistores, detectores e emissores diversos, placas solares, sensores, lasers, entre outros.

De acordo com De Souza, De Andrade (2022), um supercondutor é um material que, em determinadas condições, é capaz de conduzir corrente elétrica sem apresentar resistência e, conseqüentemente, sem dissipação de energia na forma de calor (efeito Joule). A maioria dos supercondutores opera em seu estado de supercondutividade em temperaturas baixas, uma vez que a redução da temperatura resulta em menor energia e movimento dos átomos, permitindo que os elétrons se desloquem livremente. A temperatura na qual um material se torna um supercondutor é conhecida como temperatura crítica ( $T_c$ ).

Um elétron passando num material supercondutor atrai os prótons e nêutrons ao seu redor, essa região fica mais positivamente carregada, um outro elétron é atraído por essa região mais positivamente carregada, esses elétrons formam um ligamento conhecido como Par de Cooper, e andam acompanhados enquanto passam no material. Pares de Cooper são ligamentos bem sensíveis, então se há alta energia no material o par é quebrado, por isso a necessidade de baixas temperaturas (DE SOUZA; DE ANDRADE, 2022).

Os supercondutores são utilizados em máquinas de ressonância magnética, ressonância magnética nuclear, aceleradores de partículas. Um dos usos dos supercondutores é nos chamados trens de levitação magnética, conhecidos também como MagLev. Como o MagLev flutua em cima dos trilhos não há atrito entre o trem e o chão, assim a única fricção que há é entre o ar e o trem, o que permite alcançar altas velocidades. Existem diferentes tipos tecnologia MagLev, suspensão eletrodinâmica, suspensão eletromagnética e Inductrack (LILIA, 2022).

### ***Diferenciação de super e semicondutores e suas aplicações na indústria***

A diferença fundamental entre semicondutores e supercondutores reside nas suas propriedades de condução elétrica. Os supercondutores exibem uma propriedade chamada supercondutividade, na qual a resistência elétrica é praticamente nula abaixo de uma temperatura crítica específica. Nesse estado, os elétrons podem fluir sem perdas significativas de energia, permitindo correntes elétricas contínuas e estáveis. A supercondutividade é um fenômeno quântico que envolve o emparelhamento de elétrons, formando pares conhecidos como pares de Cooper. Esses pares de Cooper atravessam o material sem colisões com as impurezas ou com a estrutura cristalina, resultando em uma resistência quase zero. (DE SOUZA; DE ANDRADE 2022).

Já os semicondutores possuem uma condutividade intermediária, o que significa que podem conduzir eletricidade, mas não tão facilmente quanto os condutores (como metais).

Eles possuem uma banda proibida relativamente estreita, permitindo que os elétrons sejam excitados para a banda de condução por meio de estímulos externos, como energia térmica ou campo elétrico. A condutividade dos semicondutores pode ser ajustada por dopagem controlada, onde impurezas são introduzidas para criar excesso ou falta de elétrons. (PEREIRA, 2021); (RODRIGUES, 2021).

De acordo com Lilia B., (2022) e Rodrigues, (2021), outra diferença importante é que os semicondutores são amplamente utilizados na indústria eletrônica para fabricação de dispositivos como transistores, diodos e circuitos integrados, enquanto os supercondutores têm aplicações mais específicas, como em equipamentos de ressonância magnética, aceleradores de partículas e transmissão de energia elétrica com perdas mínimas.

Algumas aplicações dos supercondutores podem ser voltadas para indústria como, por exemplo, para motores elétricos automobilísticos. De acordo com Mendes e Dos Santos (2022), gradualmente, os investimentos estão sendo direcionados para a emergente revolução automotiva, com um foco significativo nas pesquisas voltadas para o aprimoramento da eficiência energética dos motores. Nesse contexto, uma das soluções mais promissoras atualmente investigadas reside na aplicação de supercondutores.

No entanto, a obtenção da capacidade de supercondução em diversos materiais requer a manutenção de temperaturas abaixo de um limite crítico específico. Nesse sentido, o aerogel emerge como um isolante térmico altamente eficiente, desempenhando um papel crucial na preservação da baixa temperatura necessária para a realização e manutenção do estado supercondutor (MENDES, DOS SANTOS, 2022).

A aplicação de semicondutores abrange uma grande área, dentre elas a aplicação de módulo semicondutores híbridos em acionamentos elétricos. Módulos semicondutores híbridos são dispositivos que integram interruptores de silício com interruptores de um material semicondutor de larga banda proibida. Essa estratégia permite ampliar os limites da tecnologia baseada em silício, oferecendo uma vantagem competitiva em termos de custo em comparação com módulos exclusivamente baseados em materiais WBG (Wide Band Gap) (PONGELUPE, CUPERTINO, PEREIRA, 2022).

### ***Grafeno e sua relação com super e semicondutores***

Embora o grafeno seja conhecido por sua alta condutividade elétrica devido à presença de elétrons altamente móveis em sua estrutura de bandas, sua falta de um gap de energia intrínseco limita sua aplicação direta como um semicondutor convencional. No entanto, várias estratégias têm sido exploradas para modular as propriedades eletrônicas do grafeno e torná-lo um semicondutor viável. Isso inclui o uso de estruturas nanoestruturadas, como junções PN e nanorribbons, dopagem química, funcionalização covalente e a criação de heteroestruturas de

grafeno com outros materiais bidimensionais ou semicondutores. Essas abordagens visam abrir um gap de energia controlável no grafeno, permitindo assim o controle do fluxo de corrente elétrica. Além disso, a combinação do grafeno com semicondutores tradicionais, como silício ou arseneto de gálio, tem sido explorada para aproveitar as propriedades únicas de ambos os materiais e criar dispositivos híbridos com desempenho aprimorado em termos de velocidade, eficiência e versatilidade (KOPPENS; CHANG; DE ABAJO, 2011).

No que diz respeito às diversas aplicações do grafeno em várias áreas do conhecimento, destaca-se sua notável contribuição na indústria eletrônica, onde se apresenta como um material versátil, graças às suas propriedades de dissipação de calor. Além disso, em termos de sustentabilidade, foi observado que o grafeno é altamente permeável apenas à água, o que o torna um potencial ferramenta para aplicações de descontaminação, conforme destacado pela Universidade de Manchester (2016). De acordo com estudos (KOPPENS; CHANG; DE ABAJO, 2011), o grafeno, um semicondutor com banda gap de energia zero, absorve aproximadamente 2,3% da luz incidente. No entanto, sua utilização em dispositivos fotônicos é limitada devido ao curto tempo de vida de recombinação do par elétron-buraco (HUANG et al., 2013). No entanto, a presença de grupos oxigenados na superfície do grafeno (ou GO) interrompe a rede de elétrons  $\pi$  conjugada, criando uma abertura na estrutura das bandas de energia (LUNDIE; ŠLJIVANCANIN, 2010). Essa metodologia viabiliza a aplicação do grafeno em diversas áreas.

Recentemente, materiais híbridos formados por pontos quânticos semicondutores (PQs) com óxido de grafeno ou óxido de grafeno reduzido tem recebido interesse crescente. PQ por apresentar gap óptico sintonizável pelo tamanho, boa fotoestabilidade, estabilidade química, momento de dipolo grande é bastante requisitado para aplicações em optoeletrônica.

Em uma reação típica envolvendo radicais livres, o aquecimento de um sal de diazônio resulta na produção de um radical altamente reativo, que ataca os átomos de carbono  $sp^2$  do grafeno, formando ligações covalentes. No entanto, um aspecto desfavorável desse procedimento é a diminuição da condutividade do grafeno devido à interrupção do sistema aromático causada pela mudança do estado de hibridização do carbono  $sp^2$  para  $sp^3$ . A proporção de átomos de carbono com hibridização  $sp^2$  e  $sp^3$  é um indicador da funcionalização covalente. Os grupos arilo, anexados covalentemente por meio da reação de diazônio, podem atuar como iniciadores para a polimerização de estireno por meio do método de polimerização de radical de transferência atômica (ATRP). Como resultado, cadeias poliméricas são ligadas covalentemente à superfície do grafeno. Esses polímeros podem modificar as propriedades intrínsecas do grafeno para aplicações específicas ou servir como locais reativos para a anexação de diferentes tipos de nanopartículas ou biomoléculas ao grafeno (DO NASCIMENTO, 2022).

Embora o grafeno em si não seja um supercondutor convencional, sua combinação com outros materiais pode levar à formação de híbridos supercondutores com propriedades excepcionais. O acoplamento do grafeno a supercondutores convencionais, como o nióbio, tem

demonstrado a possibilidade de melhorar a condutividade elétrica, aumentar a temperatura crítica de transição para o estado supercondutor e aprimorar a dissipação de calor. Além disso, a utilização de camadas de grafeno como interfaces entre supercondutores convencionais tem mostrado a capacidade de suprimir o efeito de dissipação de energia em interfaces supercondutoras, melhorando assim a eficiência e o desempenho dos dispositivos. Essas interações entre o grafeno e os supercondutores abrem caminho para o desenvolvimento de novas tecnologias e dispositivos supercondutores com aplicações potenciais em eletrônica de alta velocidade, computação quântica e transmissão de energia com perdas mínimas (MENDES, DOS SANTOS, 2022).

Recentemente, tem havido um aumento significativo na pesquisa explorando o potencial do grafeno em aplicações biomédicas. Sua estrutura semelhante aos nanotubos de carbono permite que o grafeno seja utilizado como veículo de transporte de medicamentos e no tratamento do câncer. Por exemplo, o óxido de grafeno reduzido tem se destacado como um agente fototérmico eficiente, capaz de eliminar tumores em estudos *in vivo*. Em outro estudo, o óxido de grafeno funcionalizado com polietilenoimina (PEI) foi conjugado com RNA de interferência e com o agente antitumoral doxorrubicina, resultando em um aumento significativo da eficácia da quimioterapia (NOVOSELOV ET AL., 2012). Além disso, o grafeno tem sido conjugado com componentes de imagem e terapêuticos, formando materiais teranósticos. Um estudo recente demonstrou a funcionalização do óxido de grafeno com nanopartículas de óxido de ferro e o polímero polietileno glicol (PEG) para conferir propriedades magnéticas e melhorar a biocompatibilidade, respectivamente (PRADO ET AL., 2017).

## CONCLUSÃO

Com base na fundamentação e nas pesquisas teóricas, fica evidente que o grafeno possui um amplo potencial de aplicação em diversas áreas industriais. Sua capacidade de ser combinado com outros semicondutores e supercondutores abrem caminho para a obtenção de resultados desejados em diferentes setores.

No entanto, vale ressaltar que o uso prático do grafeno em supercondutores apresenta desafios. As propriedades físico-químicas do grafeno e as propriedades específicas requeridas para um material funcionar como um supercondutor nem sempre se alinham perfeitamente. Isso significa que mais pesquisas são necessárias para compreender e superar essas limitações, a fim de explorar plenamente o potencial do grafeno na área de supercondutividade.

A incorporação do grafeno em materiais semicondutores oferece a oportunidade de avanços significativos na eletrônica. Com sua alta condutividade elétrica e térmica, o grafeno pode ser utilizado como um material suporte para a fabricação de transistores de alta frequência e alta mobilidade de carga. Isso, por sua vez, permitiria a criação de dispositivos eletrônicos mais

rápidos, eficientes e compactos, impulsionando o progresso tecnológico em áreas como a computação e as telecomunicações.

Além disso, é importante ressaltar que o grafeno ainda requer um intenso estudo e pesquisa. Embora apresente características notáveis, como sua alta resistência mecânica e condutividade, a produção em larga escala e de alta qualidade de grafeno ainda é um desafio. É necessário investimento em pesquisas para aprimorar as técnicas de fabricação, buscando soluções que permitam sua produção de forma mais eficiente e econômica.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, P. G. F. DE et al. Aspectos ambientais relacionados à síntese, utilização e descarte do grafeno. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 8, n. 19, p. 993–1007, 2021; <<http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n19/v08n19a25.pdf>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

BAING, A.; KAMMAKAKAM, I.; FALATH, W. **Graphene-Based Batteries: A Review**. *Journal of Advanced Materials*, 2021, 15(3), 1-10; <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/aenm.201803342>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

BERGER, C.; SONG, Z.; LI, T., et al., **Ultrathin Epitaxial Graphite: 2D Electron Gas Properties and a Route toward Graphenebased Nanoelectronics**, *J. Phys. Chem.*, 2004, 108(52), 19912–19916; <<https://arxiv.org/pdf/cond-mat/0410240.pdf>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

BRANÍCIO, Paulo S. **Introdução à supercondutividade, suas aplicações e a mini-revolução provocada pela redescoberta do MGB2: uma abordagem didática**. Scielo, Dezembro de 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/8CSJ5zLMH4ZJdndBGBKJdwg/>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

BRUNIA, P.; HWANG, E; MIN, M, et al. **A non-volatile memory device consisting of graphene oxide covalently functionalized with ionic liquid**, *Chem. Commun.*, 2011, 48(6), 913–915; <[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32103413/Chem.Comm\\_2012-libre.pdf?1391621723=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA\\_non\\_volatile\\_memory\\_device\\_consisting.exe&Expires=1685216069&Signature=E93rjh~z-533p2l-oW7XKVIZY~jWPKjfkDDGFtgwZnO~up2UJd6O0NpL55c63l5Re0Dd6egMPw-Gr~ehHluwrVPEjGycP6c2Rfhe1LPTWqTqW9npWhRZA6k4v5fi98NOonQe0GzVK9b~B-D0t8WsfTSuGDX1mjFoXbdDu6ok2EtW0v~RUX5vVMbLnCEkoHKJJvK764USQ1mrPc5TP-PQh5UsUGSiHCnZvEf5L0u6p2x5IAyRrYvEcesfkeuBEQBTgdEqpOO2jo8xzWxijHRsM6ux-wgC1UcjVcSL7olwedcLH7IAV7mxUmqgug4Y07n1Gdt~M0QZ0l8BRJwOMThJL~yEvo-Q\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32103413/Chem.Comm_2012-libre.pdf?1391621723=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DA_non_volatile_memory_device_consisting.exe&Expires=1685216069&Signature=E93rjh~z-533p2l-oW7XKVIZY~jWPKjfkDDGFtgwZnO~up2UJd6O0NpL55c63l5Re0Dd6egMPw-Gr~ehHluwrVPEjGycP6c2Rfhe1LPTWqTqW9npWhRZA6k4v5fi98NOonQe0GzVK9b~B-D0t8WsfTSuGDX1mjFoXbdDu6ok2EtW0v~RUX5vVMbLnCEkoHKJJvK764USQ1mrPc5TP-PQh5UsUGSiHCnZvEf5L0u6p2x5IAyRrYvEcesfkeuBEQBTgdEqpOO2jo8xzWxijHRsM6ux-wgC1UcjVcSL7olwedcLH7IAV7mxUmqgug4Y07n1Gdt~M0QZ0l8BRJwOMThJL~yEvo-Q_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)>. Acesso em 26 de maio de 2023;

CHERNODUB, M. N. **Can nothing be a superconductor and a superfluid?. High Energy Physics - Phenomenology**. 2011. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1104.4404v1>>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

CHÉROLET, Brenda. **História da Tabela Periódica**. Educa+Brasil, publicado em 17 de maio de 2019 e atualizado em 22 de julho de 2020. Disponível em: <<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/historia-da-tabela-periodica>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

COELHO, Beatriz. **Os diferentes tipos de pesquisa científica. Qual se aplica melhor a você?**. Mettzer, 20 de setembro de 2019. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>>. Acesso em: 23 de maio de 2023;

DA SILVA, Dirceu; LOPEZ, Evandro L; SILVA BRAGA JUNIOR, Sérgio; **Pesquisa Quantitativa: elementos, paradigmas e definições.** *Revista de Gestão e Secretariado*, vol. 5, núm. 1, enero-abril, 2014, pp. 1-18 Sindicato das Secretárias(os) do Estado de São Paulo São Paulo, Brasil. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/4356/435641695001.pdf>>. Acesso em: 23 de maio de 2023;

DE SOUZA, Gabriel Fonseca, DE ANDRADE, José Antônio. **"SUPERCONDUTORES: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO."** *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação* 8.11 (2022): 2287-2294; < <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/download/7815/3061>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

FERREIRA, Alexandre Z. **Estudo de utilização de supercondutores para a transmissão de energia elétrica.** Trabalho de Conclusão de Curso, Eng. Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2015. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/344.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

GODOY, Arilda S. **Pesquisa Qualitativa – Tipos Fundamentais.** *Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29 Mai./Jun. 1995. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rae/a/ZX4cTGrqYfVhr7LvVyDBgdb/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso: 23 de Maio de 2023;

HORIZONTE, B. **Aplicação de Módulos Semicondutores Híbridos em Acionamentos Elétricos.** Disponível em: <[https://sig-arquivos.cefetmg.br/arquivos/20212020055e423262879e614c3cdd572/Dissertao\\_Fabio\\_Pongelupe\\_com\\_ficha\\_catalografica.pdf](https://sig-arquivos.cefetmg.br/arquivos/20212020055e423262879e614c3cdd572/Dissertao_Fabio_Pongelupe_com_ficha_catalografica.pdf)>. Acesso em: 27 maio. 2023.

**2021 room-temperature superconductivity roadmap.** *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2022; 34(18). Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-648X/ac2864>>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

KOPPENS, F. H. L.; CHANG, D. E.; GARCÍA DE ABAJO, F. J. Graphene plasmonics: a platform for strong light-matter interactions. *Nano letters*, v. 11, n. 8, p. 3370–3377, 2011. < <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/nl201771h>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

LUNDIE, M.; ŠLJIVANČANIN, Ž.; TOMIĆ, S. Electronic and optical properties of reduced graphene oxide. *Journal of materials chemistry. C, Materials for optical and electronic devices*, v. 3, n. 29, p. 7632–7641, 2015. < <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/tc/c5tc00437c>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

MARIN, Jorge. **Tudo sobre o grafeno, material que está revolucionando a tecnologia.** *Tecmundo*, 13 de fevereiro de 2021. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/produto/210846-tudo-grafeno-material-revolucionando-tecnologia.htm>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

MECATRÔNICA, E. et al. **USO DE SUPERCONDUTORES PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS AUTOMOBILÍSTICOS.** , [s.d.]. Disponível em: <[https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/29141/2/20222 EMC\\_SCS\\_TQM.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/29141/2/20222 EMC_SCS_TQM.pdf)>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

NASCIMENTO, Rosinildo Fideles do. **Estudo de nanomateriais híbridos à base de óxido de grafeno e nanocristais semicondutores.** 2022. 83 f. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. DOI. Disponível em: <<http://doi.org/10.14393/ufu.te.2022.5023>>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

Novoselov, K.S.et al. (2012). A roadmap for graphene. *Nature*,190(5),192-200. <<http://www.condmat.physics.manchester.ac.uk/media/eps/condensedmatterphysicsgroup/publications/GrapeneRoadmap.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

OLIVEIRA, Gabriela S. de. **Estudo da alotropia do carbono utilizando a música em uma estratégia didática: evidências de uma aprendizagem significativa.** *Revista Educação Pública*, v.20, nº9, 10 de março de 2020. Disponível em: <<https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/20/9/estudo-da-alotropia-do-carbono-utilizando-a-musica-em-uma-estrategia-didatica-evidencias-de-uma-aprendizagem-significativa>>. Acesso em 26 de Maio de 2023;

OLIVEIRA, L. D. R. G.; SILVA, V. G. da; FERREIRA, D. C. T. **As propriedades e aplicações do Grafeno: impactos na nanotecnologia.** In: SEMINÁRIO DE PESQUISA E INOVAÇÃO (SemPI), III., 2019. Formiga. Anais eletrônicos [...]. Formiga: IFMG – Campus Formiga, 2019. ISSN – 2674-7111; <[https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2020/Seminarios\\_SemPI\\_SemEx/2019/Resumos/Engenharia/1\\_-\\_As\\_propriedades\\_e\\_aplicaes\\_do\\_grafeno.pdf](https://www.formiga.ifmg.edu.br/documents/2020/Seminarios_SemPI_SemEx/2019/Resumos/Engenharia/1_-_As_propriedades_e_aplicaes_do_grafeno.pdf)>. Acesso em 26 de maio de 2023;

Prado, N. T., et al. (2017). Nanostructured niobium oxides synthesized by a new route using hydrothermal treatment: High efficiency in oxidation reactions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 205(5), 481–488 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337316310037>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

**PRODUÇÃO DO GRAFENO A PARTIR DA GRAFITA NATURAL.** Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/8861/pdf>>. Acesso em: 25 maio. 2023;

Q. Zhang, B. Huang, P. Wang, X. Zhang, X. Qin and Z. Wang, *International Journal of Photoenergy*, 2012, 2012, 1-5. <<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/461291/>> Acesso em: 26 de maio de 2023;

RIBEIRO, Wallas dos Santos. **Semicondutores: Um panorama geral com ênfase na purificação do silício.** Monografia de Licenciatura, FAEMA, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/445/1/RIBEIRO%2C%20W.%20S.%20-%20SEMICONDUCTORES..%20UM%20PANORAMA%20GERAL%20COM%20C%38ANFASE%20NA%20PURIFICA%20C%38O%20DO%20SIL%20C%38DCIO.pdf>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

RODRIGUES, C. G. **Panorama do mercado global da indústria de semicondutores / Overview of the global semiconductor industry market.** *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 74936–74944, 2021; <<https://www.academia.edu/download/76762295/pdf.pdf>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

SEGUNDO, L. A.; VILAR, E. **Aplicações tecnológicas do grafeno: uma revisão.** Em: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Abrasivos, 2017; <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/493/387>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

SEGUNDO, L. A.; VILAR, E. **Estudo da viabilidade de uso de grafeno em aplicações tecnológicas.** Em: Anais do X Simpósio de Mecânica Computacional, 2016; <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/download/493/387>>. Acesso em 26 de maio de 2023;

THE UNIVERSITY OF MANCHESTER. Graphene. Disponível em: <<https://www.graphene.manchester.ac.uk/learn/applications/>>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

URCUYO, R, GONZÁLEZ-FLORES, D; CORDERO-SOLANO, K., “**Perspectivas y aplicaciones reales del grafeno después de 16 años de su descubrimiento**”, *Rev. Colomb. Quim.*, vol. 50, no. 1, pp. 51-85, 2021. DOI: Disponível em: <<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.90134>>. Acesso em: 27 de maio de 2023;

**View of Use of graphene and niobium in medical practice: a narrative literature review.** Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25526/22229>>. Acesso em: 25 maio. 2023;

WOODFORD, C. Graphene: a simple introduction. 2021. Disponível em: <<https://www.explainthatstuff.com/graphene.html>>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

WTICHEMICHEN, Diego H. **Dmitri Mendeleiev**. Unicentro -Paraná, Cientista da Semana, 28 de agosto de 2018. Disponível em: <[https://www3.unicentro.br/petfisica/2018/08/28/dmitri-mendeleiev-1834-1907/#:~:text=Dmitri%20Mendeleiev%20\(1834%2D1907\)%20foi%20um%20importante%20qu%C3%ADmico%20russo,1834%20em%20Tobolsk%2C%20na%20Sib%C3%A9ria.](https://www3.unicentro.br/petfisica/2018/08/28/dmitri-mendeleiev-1834-1907/#:~:text=Dmitri%20Mendeleiev%20(1834%2D1907)%20foi%20um%20importante%20qu%C3%ADmico%20russo,1834%20em%20Tobolsk%2C%20na%20Sib%C3%A9ria.)>. Acesso em: 26 de maio de 2023;

YU, W. et al. **Progress in the functional modification of graphene/graphene oxide: a review**. *RSC advances*, v. 10, n. 26, p. 15328–15345, 2020. < <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra01068e>>. Acesso em 26 de maio de 2023;