



REVISTA CIENTÍFICA DA UMC



TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

MATERIAL'S TECHNOLOGY

Raphael Ferreira Manjko, Gustavo Tatin Vlatkovic, Welington Silvestre, Bárbara Reguini Dias

Resumo:

O artigo consiste em expor materiais de grande valência para o progresso da tecnologia; materiais do futuro. Destacamos ao longo do trabalho dois materiais excepcionalmente múltiplos, o Grafeno e o Carbino, com propriedades inovadoras, em especial à área da nanotecnologia. De natureza básica e objetivo descritivo, procuramos evidenciar as altas resistências mecânicas, alta condutividade, incrível maleabilidade, e espessura mecânica extremamente reduzida, entre outras características diferenciais aos materiais usados atualmente, tratando-se de uma abordagem quali-quantitativa. Ao fim das pesquisas, com enfoque nos autores e físicos Konstantin Novoselov e Andre Geim, reunimos suas diversas especificidades, aplicações e dados para uma análise feita por comparações, afim de apontar aquele com maior desempenho, ainda que tais materiais sejam estudados a muitos anos, certas propriedades ainda não se tem validação.

Palavras-chave: Grafeno; Carbino; Nanotecnologia; Análise-comparativa.

Abstract:

The article is based on exposing materials of great matter in the progress of technology; the materials of the future. We have placed in highlights two materials exceptionally changeable, Graphene and Carbine, with innovative properties, specially in the nanotechnology field. With a basic nature and a describable objective, we have searched to show it's high mechanical strengths, high conductivity, outstanding malleability and mechanical thickness extremely reduced, among other differentials properties than the materials currently being used, dealing with a qualitative and quantitative approach. In researches' end, based mostly on the authors and physicians Konstantin Novoselov and Andre Geim, we have gathered their diverse specificities, applications and data for an analysis made by comparison, to point the one with better performance, even that such materials were studied at many years, certain properties still have no validation.

Keywords: Graphene; Carbine; Nanotechnology; Comparative analysis.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento humano e de suas ideias de melhorar o seu meio de vivência se tornou necessário a aplicação de novas matérias primas e materiais para a sua evolução científica. Esse processo de modernização só foi possível graças a tecnologia de produção e desenvolvimento atrelada com materiais de grandes

ganhos, sejam eles estruturais (resistência às forças externas) ou químicas (altamente reagentes).

Assim, como o tema influencia diretamente a transformação do mundo atual no quesito desenvolvimento de produtos e materiais com uma gama de aplicação ampla, foi realizado esse estudo para conhecer mais sobre o assunto.

Os materiais estão tão encaixados na cultura humana, que a maioria nem nota mais a sua presença. Em transportes, casas, roupas, produção de alimentos, ou seja, inevitavelmente, todos os ramos de nosso desenvolvimento foi, de alguma forma, influenciado por eles.

De acordo com a História, a habilidade de desenvolver alguma espécie de trabalho com algum tipo de material serviu como base de designação de eras (como a Idade da Pedra ou a Idade do Bronze etc.). Inicialmente, o contato com o material se tratava do mesmo não trabalhado extraído diretamente da natureza, conforme o tempo avançou, diferentes estudos vieram e apontaram uma enorme possibilidade de operações para uma necessidade, por exemplo, o uso da forja como tratamento térmico ou até mesmo a inserção de diferentes substâncias químicas.

Com isso, o leque de possíveis resultados apenas expandiu e abrangeu toda uma leva de outros materiais e com isso, se tornou possível a seleção de uma melhor opção, que desempenhe uma melhor aplicação, se tornando obrigatório o uso do mais adequado, em qualquer área escolhida a fim da maximização funcional. Na verdade, sem os novos materiais e sua produção eficiente, não existiria o nosso mundo de equipamentos modernos, máquinas, computadores, automóveis, aeronaves, aparelhos de comunicação e produtos estruturais.

Cientistas e engenheiros de materiais continuarão a estar na dianteira dessas e de outras áreas a serviço da sociedade, à medida que conquistem novos níveis de entendimento e controle sobre os blocos básicos que compõem os materiais: átomos, moléculas, cristais e arranjos não-cristalinos. (HAHN, 1994)

No setor industrial, máquinas criam movimento e desenvolvem forças, para isso um ter amplo funcionamento, é cabido ao engenheiro calcular tais movimentos a fim de dimensionar suas formas, medidas e, um dos mais importantes, o material necessário para cada um dos componentes que integram a máquina. (NORTON,

2013). Se tornando assim, um enorme, delicado e necessário estudo. Esse estudo é baseado em processos que, coletivamente, são denominados de fabricação: incluem processos primários de conformação, processos de remoção de material, processos de união e processos de acabamento, ou seja, função, material, forma e processo interação.

Seus processos determinam sua forma, tamanho, precisão e, é claro, o custo. Essas interações são de duas vias: a especificação da forma restringe a escolha de material e processo; porém, igualmente, a especificação do processo limita a escolha do material e as formas acessíveis. (ASHBY, 2012)

Um grande exemplo de evolução nesse ramo de descobertas do ser humano foi a criação do grafeno (óxido de grafeno (GO) ou óxido de grafeno reduzido (RGO)). Este material possui larga aplicabilidade nos setores industriais, agropecuários e principalmente aeroespaciais, suas características estruturais permitem essa atuação em sistemas diversos como compósitos, energia, sensores / biosensores, eletrônica, filmes finos (Nano tubos), meio ambiente, entre outros. (ZARBIN, OLIVEIRA, 2013)

Durante este artigo serão abordadas as principais atuações e materiais que nortearão o desenvolvimento humano nas próximas décadas.

REFERENCIAL TEÓRICO

O Grafeno, sendo um material estudado há anos, tomando sua força em um estudo feito em 2004, que foi pioneiro em apontar sua forma bidimensional (2D) após um estudo de campo elétrico em filmes de Carbono atômica e finos. (NOVOSELOV *et al*, 2004)

Tido como a matéria prima de vários alótropos de carbono, como fulerenos, nanotubos de carbono e grafite. Considerado o ponto de partida para se definir essas estruturas. Fulerenos são moléculas nas quais os átomos de carbono são arranjados esféricamente e do ponto de vista físico, possuem dimensão zero (0D). Eles podem ser construídos teoricamente através da introdução de pentágonos em uma folha de grafeno, o que é visto como um defeito e causa uma curvatura positiva. Os nanotubos de carbono são construídos abstratamente através do enrolamento da folha de grafeno ao longo de uma dada direção, contendo apenas hexágonos, podendo ser tratados como objetos unidimensionais (1D). (MARTINS, 2014)

Segundo Lee (2008), a força intrínseca relatada em sua experimentação sobre as medidas das propriedades elásticas de uma camada unitária de grafeno, serve como uma referência para estruturas e mecânica aplicações, embora a resistência dos materiais grafiticos macroscópicos ainda seja limitada pela presença de defeitos e limites de grãos.

Até agora, a síntese química do grafeno nos fornece, ainda, pequenas plaquetas, as técnicas mais usuais para o crescimento de cristais também são precárias, visto que durante o processo, nas alterações termodinâmicas, esse crescimento tende a se manter na terceira dimensão; os cristais que já nascem em estrutura 2D tentam minimizar sua energia superficial, como consequência obtemos uma variedade de estruturas de terceira dimensão. Para que o produto final, cristais 2D de grafeno, seja alcançado “pode-se fazer cristais 2D impressados entre ou sobre os planos atômicos de um cristal espesso” (TORREZ-SILVA, LÓPEZ-BONILLA, 2011), uma vez que cristais 2D são estabilizados junto à interações estruturais 3D durante seu crescimento.

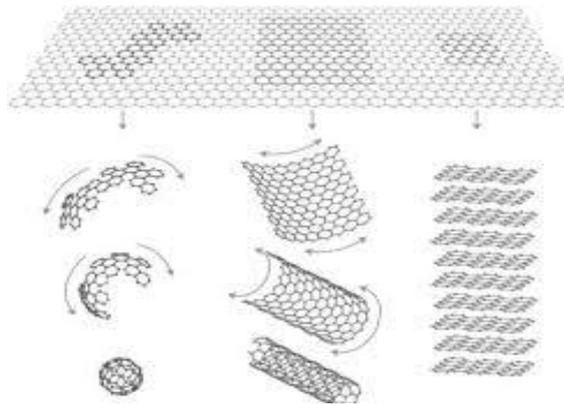
Mantendo o Grafeno como o melhor promissor à ser um “Supermaterial”, entretanto, além de grafite e diamante, os alótropos sólidos de carbono na hibridação sp^2 e sp^3 apontaram a existência de um terceiro alótropo baseado na cadeia linear sp -carbo, o carbino. A definição mais compartilhada o descreve como a cadeia linear infinita ideal unidimensional formada apenas por átomos de carbono sp ligados covalentemente, constituindo a unidade de construção de um possível terceiro alótropo de carbono sólido. Em contraste, o termo "granel carbyne" é usado para descrever o material em estado sólido obtido quando infinitas cadeias de carbono sp são empacotadas em uma fase cristalina. Mantendo-o como a cadeia linear infinita ideal (1D). (CASARI, MILANI, 2018)

Propriedades do Grafeno

O grafeno é uma nanofolha de carbono de camada única composta por duas sub-redes equivalentes de átomos de carbono sp^2 conectados por σ (C – C). Cada átomo de carbono na rede possui um orbital π que contribui para uma rede deslocalizada de elétrons. Essa estrutura química extraordinária (conhecida como sistema Dirac Fermion) leva o grafeno a exibir características físicas e químicas devido à sua dispersão linear de energia, alta simetria de elétrons e grau de liberdade interno.

Seu formato de redes resultando em um elétron livre por átomo de carbono no orbital p e tornando o grafeno um material utilizável em várias aplicações. Essa estrutura única, fornece ao grafeno várias propriedades superiores, tais como altas condutividades elétricas e térmicas, boa transparência, boa resistência mecânica, flexibilidade inerente e enorme área superficial específica. (SEGUNDO, VILAR, 2016)

Figura 1 - Mãe de todas as formas gráficas

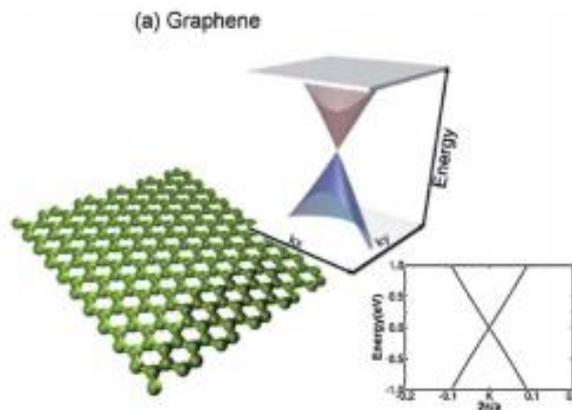


Fonte: SEGUNDO, VILAR, 2016.

Na figura acima, temos algumas configurações que contêm o grafeno como um material de construção 2D para materiais de carbono de todas as outras dimensionalidades. Pode ser embrulhado para formar fulerenos (0D), enrolado para formar nanotubos (1D) ou empilhado para formar grafite (3D). (VILAR, 2016)

A superfície sem defeitos ou altamente cristalina do grafeno aparenta ser quimicamente inerte. A superfície do grafeno puro normalmente interage com outras moléculas via adsorção física (π - π interações). Para permitir que a superfície do grafeno seja mais reativa, são geralmente introduzidos defeitos ou grupos funcionais de superfície; Por exemplo, a dopagem química, com átomos como B e N e a introdução de grupos funcionais, tais como carboxila, carbonila e grupos amina, pode ajustar as propriedades de superfície e as propriedades eletrônicas do grafeno. (XU, *et al*, 2013)

Figura 2 - Estrutura de banda Teoria do Funcional da Densidade (DFT) 3D de baixa energia e sua projeção em k_x próximo ao ponto k para (a) grafeno



Fonte: TERRONES, *et al*, 2010.

A ausência de curvatura na dispersão eletrônica próxima do nível de Fermi (“Nível de Fermi” é o termo usado para descrever o topo da coleção de níveis de energia eletrônica na temperatura zero absoluta); esse conceito vem das estatísticas de Fermi-Dirac. Os elétrons são férmions e, pelo princípio de exclusão de Pauli, não podem existir em estados de energia idênticos. No zero absoluto, eles acumulam nos estados de energia mais baixos disponíveis e constroem um “mar Fermi” de estados de energia eletrônica. O nível de Fermi é a superfície desse mar no zero absoluto, onde nenhum elétron terá energia suficiente para subir acima da superfície (HYPER PHYSICS); leva a consequências físicas bastante interessantes; talvez a mais peculiar seja a qual, em torno do ponto K , os elétrons obedecem ao hamiltoniano de Dirac para férmions de massa zero, ou seja, próximo do ponto K , os elétrons se comportam como se não tivessem massa (GUIMARÃES, 2010), tornando-o um ótimo condutor elétrico, mantendo sua condutividade em até 2×10^4 S/cm e a mobilidade eletrônica de 2×10^5 cm²/V.s, tendo seus elétrons se deslocando a uma velocidade de aproximadamente 10^6 m/s.

É o material mais fino já conhecido e o mais forte já medido, tem um módulo de Young extremamente elevado (1TPa) e a maior resistência intrínseca (aproximadamente 130 GPa) já medida. (WEI, KIVIOJA *apud* SEGUNDO, VILAR, 2016)

Em 2008, os pesquisadores Changgu Lee, Xiaoding Wei, Jeffrey W. Kysar e James Hone, realizaram uma sequência de experiências a respeito do grafeno e lançaram seu artigo “Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene”, após a realização, afirmaram o seguinte:

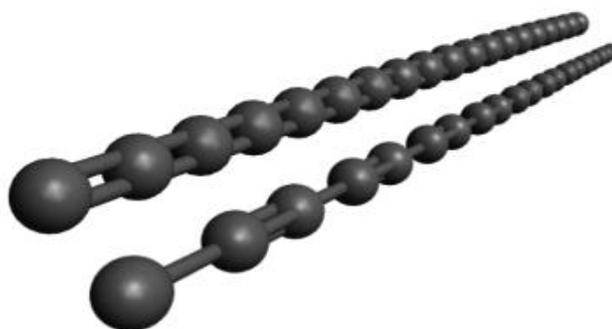
“Essas experiências estabelecem o grafeno como o material mais forte já medido, e mostram que materiais em nanoescala atômicamente perfeitos podem ser testados mecanicamente quanto a deformações muito além do regime linear”.

Entretanto, em 2013, uma contrapartida foi exposta; estudos apontaram para dados de um outro material derivado de Carbono com capacidades superiores, embora, teóricas. Utilizando cálculos de Primeiros-Princípios para estudar suas propriedades, investigaram a resposta mecânica do Carbino à tensão, dobra, e deformações por torção. (LIU, 2013)

Propriedades do Carbino

O Carbino representa o melhor sistema 1D com diâmetro de um único átomo. Tendo suas cadeias mais longas identificadas até agora, de 6000 átomos e 600 nm de comprimento. Devido à reatividade muito alta do carbono sp, a estabilização de uma cadeia tão longa é um avanço, mas está longe de indicar que é uma cadeia infinita. A estrutura do carbino ideal com as duas configurações possíveis: cumuleno (em cima) e poline (em baixo). (CASARI, MILANI, 2018)

Figura 3 – Estruturas ideais para o Carbino



Fonte: CASARI, MILANI, 2018.

Essa distinção adicional para o Carbino é baseada nas duas formas ideais acima: o termo α -carbino foi usado para descrever uma estrutura alternada de comprimento de ligação caracterizada pela alternância de ligações C - C simples e triplas conjugadas, e por outro lado, o pesquisadores denotaram o β -carbino para uma cadeia infinita caracterizada por ligações duplas iguais. (CASARI, MILANI, 2018)

Sob tensão, o Carbino é cerca de duas vezes mais rígido que os materiais mais rígidos conhecidos e tem uma resistência específica incomparável de até $7,5 \times 10^7$ N x m / kg, exigindo uma força de, aproximadamente, 10 nN para quebrar uma única cadeia atômica, possui grande persistência à temperatura ambiente de cerca de 14 nm, e, surpreendentemente, sua rigidez torcional pode ser nula, mas pode ser "ativada" por grupos funcionais apropriados nas extremidades. Tendo isso reconstruído, se realizaram testes mecânicos, mostrando sua extrema resistência mecânica, tal como um módulo de Young de 32,7 TPa, com uma espessura mecânica de 0,772 Å. (LIU, 2013)

METODOLOGIA

A pesquisa, de natureza básica, conduzida pelo objetivo de analisar a evolução constante dos materiais, com vertente ao ramo industrial, e evidenciar aqueles que estão no auge da evolução tecnológica na atualidade; esses, evidenciados por professores e pesquisadores da área. O estudo baseia-se, primeiramente, no agrupamento de conhecimentos sobre cada material a ser abordado, como a nanotecnologia e as propriedades subversivas do grafeno; mas para compreendermos o porquê tais descobertas recentes serem responsáveis por inúmeros avanços, e dentro do âmbito tecnológico, taxadas de "melhor opção" precisamos nos propor à comparações, para que possamos então enxergar que um dispõe-se de uma polivalência que anteriormente, outro material não nos oferecia, tornando-se obsoleto quando aferido, empregando uma abordagem quali-quantitativa à pesquisa.

Tratando-se de tecnologia dos materiais, os estudos relevantes ao assunto, são computados por meio de ensaios, em sua maioria, laboratoriais; contendo experimentações teóricas, práticas, e seus respectivos seguimentos gerados, por meio destes, extrai-se uma coletânea de resultados.

O foco do artigo está sujeito ao objetivo descritivo do assunto, visto que o detalhamento das propriedades destas novas tecnologias é primordial para o desdobramento do trabalho. Os dados que norteiam essa pesquisa são ponderados de artigos científicos, denotando fatos já levantados por pesquisadores.

DESENVOLVIMENTO

Embasados nos estudos de ligações intermoleculares, somados às formas de cadeias ideais montadas para a molécula, portas foram abertas à diferentes estudos.

Ambos os materiais compreendem à estudos remetentes à uma melhor escolha de materiais, variante de suas propriedades, mesmo ambos sendo de mesma “família”, possuem sua própria característica. Com seu desenvolvimento, podem reger a maneira como certas coisas são montadas, exercidas e alterar seu funcionamento.

A partir dos seguintes parâmetros:

Tabela 1 – Propriedades dos materiais para o estudo de comparação

Propriedade	Definição
<i>Módulo de Young</i>	Parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido.
<i>Espessura Mecânica</i>	Mesmo que grossura, ou seja, a condição de algo que é grosso, que tem uma densidade consistente e elevada, geralmente contada em Å (ångström).
<i>Persistência temperatura ambiente</i>	á Capacidade de não ter suas propriedades originais desestabilizadas pela temperatura ambiente.
<i>Resistividade Elétrica</i>	Medida da oposição de um material ao fluxo de corrente eléctrica. Quanto mais baixa for a resistividade , mais facilmente o material permite a passagem de uma carga eléctrica. Sua unidade no SI é o ohm-metro (Ωm).
<i>Resistividade Térmica</i>	Medida de oposição à Energia Térmica que o material possui. Quanto mais baixa for, mais facilmente o material transferirá Energia Térmica. Sua unidade é o <u>watt</u> por <u>metro</u> e por <u>kelvin</u> (W/m.K) , no SI.
<i>Rigidez Específica do Material</i>	Módulo de elasticidade específico (Rigidez Específica) é uma propriedade material que consiste no módulo de elasticidade por densidade de massa de um material.
<i>Força de Ruptura Estimada</i>	É a máxima carga axial observada no teste de tração, imediatamente antes de romper, dividida pela área original da seção transversal.

*Dados levantados após apontarem relevância para o decorrer da pesquisa

Tais aquisições possibilitaram o levantamento e comparação desses dados feitos abaixo; nessa pesquisa há dados que ainda não podem ser comparados em virtude da tecnologia e conhecimentos atuais serem limitados, mas aqueles que podem se encaixam em:

Tabela 2 – Levantamento de dados entre materiais específicos

Grandeza	Carbino	Grafeno
Módulo de Young	32,7 TPa	2,4 TPa
Espessura Mecânica	0,772 Å	3,4 Å
Persistência à temperatura ambiente	14nM	10–100nM
Resistividade Elétrica	-	$10^{-6}\Omega\text{m}$
Condutividade Térmica	-	5000 W/m.K
Rigidez específica do material	$\cong 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$	$4.5 \times 10^8 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$
Força de Ruptura Estimada	$6.0\text{--}7.5 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$	$4.7\text{--}5.5 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$

Fonte: Formulado à partir de “Carbyne: from the elusive allotrope to stable carbon atom wires” ; “Carbyne from first principles: Chain of atoms, a nanorod or a nanorope?” e “Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos.”

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a massa de dados coletados, apontados em um estudo tanto qualitativo quanto quantitativo de método bibliográfico, o resultado que podemos apontar é relativo. Foi possível, através de muita pesquisa, o levantamento de dados sobre os materiais escolhidos com o fim de poder conter tais dados de forma tabelada e objetiva.

Entretanto, a falta de resultado publicados nas pesquisas mundiais e,

principalmente, nacionais se mostrou um obstáculo logo no início e acabou por influenciar os fins comparativos. Contudo, a gama de resultados que conseguimos “pôr as mãos”, aqui se encontra.

Ainda falta muita coisa a ser descoberta, como vários pesquisadores retratam, o estudo de materiais e suas propriedades é um estudo do amanhã, pois suas pesquisas são muito extensas.

Porém, se baseando nisso, o tema do artigo foi contemplado, já que se situava em resultados comparativos. No ano em que esse artigo se encontra disponível, nossos resultados apontam para o Carbino sendo o mais promissor, possuindo maior resistência física que os materiais mais fortes já descobertos, superando o Grafeno.

Todavia, o Grafeno tem um estudo mais fundamentado, por exemplo, não podemos escrever que o Carbino é o melhor condutor térmico/ elétrico do mundo, já que não há dados que compreendem isso; mas para o Grafeno, há. Isso torna nosso resultado final uma ponte teórica, mais estudos precisam ser feitos e mais sintetização de ambas as vertentes estudadas, para assim sabermos de suas características em situações extremas.

Logo, com o que temos, podemos tratar da necessidade, tais como a de melhores aplicações de materiais para dispositivos variáveis, desde armamento bélico ao desenvolvimento biomédico, indústrias aeroespaciais ou até mesmo em processos mais acessíveis para dessalinização da água. Sabendo que em quesitos específicos, um mostra-se superior ao outro e, com isso, fazer melhor aplicação, após um desenvolvimento de estudos e sintetização, no caso do Carbino; da mesma forma, isso só nos serve para a retomada de que nosso nível de conhecimento continua baixo, após vermos que podemos desencadear vários derivados de Carbono, baseando em sua longa cadeia linear molecular.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. EESC – USP, ASM METALS HANDBOOK, v.20 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/26790382/Sele%C3%A7%C3%A3o_de_Materiais_no_Projeto_Mec%C3%A2nico. Acesso em: Set. 2019.

CASARI, C. S., MILANI, A. **Carbyne: from the elusive allotrope to stable carbon atom wires**. Cambridge University, 2018. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mrs-communications/article/carbyne-from-the-elusive-allotrope-to-stable-carbon-atom->

wires/EF8BBD1E4CEAD017B6984ACD33C97FC5/core-reader. Acesso em: Out. 2019.

GUIMARÃES, M. H. D. **Aspectos eletrônicos e estruturais do grafeno e derivados: um estudo teórico-experimental**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2010. Disponível em: http://lilith.fisica.ufmg.br/~posgrad/Dissertacoes_Mestrado/decada2010/marcos-guimaraes/MarcosHDGuimaraes-diss.pdf. Acesso em: Out. 2019.

HAHN, S. **Os papéis da ciência dos materiais e da engenharia para uma sociedade sustentável**. Estud. vol.8 no.20. São Paulo. Janeiro/Abril 1994. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141994000100010. Acesso em: Set. 2019.

HYPER PHYSICS. **Fermi level**. Disponível em: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/Fermi.html>. Acesso em: Out. 2019.

LEE, C.; WEI, X.; KY SAR, J. W. and HONE J.; **Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene**; Science, American Association for the Advancement of Science; 321, 5887 (2008). Disponível em: http://www.physics.purdue.edu/quantum/files/CarbonNano/Elastic-property_Changgu.pdf. Acesso em: Out. 2019.

LIU, M.; ARTYUKHOV, V. I.; LEE, H.; XU, F. YAKOBSON. I. B. **Carbyne from first principles: Chain of C atoms, a nanorod or a nanorope?** Department of Mechanical Engineering and Materials Science (2013). Disponível em: <https://arxiv.org/vc/arxiv/papers/1308/1308.2258v1.pdf>. Acesso em: Out. 2019.

MARTINS, E. O. **Estudo de Propriedades Mecânicas do Grafeno por Primeiros Princípios**. Erik Martins – 2014. Disponível em: http://lilith.fisica.ufmg.br/posgrad/Dissertacoes_Mestrado/decada2010/erik-martins/ErikDeOliveiraMartins-diss.pdf. Acesso em: out. 2019.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. v.4. pg 29. 2013. Acesso em: set. 2019.

NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V. **I.V. Grigorieva and A. A. Firsov; Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films**. Science 306, 360 (2004). Disponível em: <https://arxiv.org/ftp/cond-mat/papers/0410/0410550.pdf>. Acesso em: Out. 2019.

SEGUNDO, J. E. D. V.; VILAR, E. O. **Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos**. REMAP, Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 11, n. 2 (2016). Disponível em: www2.ufcg.edu.br/index.php/REMAP/article/download. Acesso em: Out 2019.

TERRONES, M.; BOTELLO-MÉNDEZ, A. R.; CAMPOS-DELGADO, J.; LÓPEZ-URÍAS, F.; VEGACANTÚ, Y. I.; RODRÍGUEZ-MACÍAS, F. J.; ELÍAS, A. L.; MUÑOZ-SANDOVAL, E.; CANO-MÁQUEZ, A. G.; CHARLIER, J. C.; TERRONES, H. **Graphene and graphite nanoribbons: Morphology, properties, synthesis, defects and applications**. Nano Today (2010). Disponível em: https://www.academia.edu/915132/Graphene_and_graphite_nanoribbons_Morphology_properties_synthesis_defects_and_applications. Acesso em: out. 2019.

TORRES-SILVA, H.; LÓPEZ-BONILLA, JOSÉ L. Aspectos quirais do grafeno, **Elementos quirais de grafeno**. Rev. chil. ing. vol.19 no.1 America jun. 2011. Disponível em: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052011000100008&lang=pt. Acesso em: Out. 2019.

XU, C; XU, B.; GU, Y.; XIONG. Z.; SUN, J.; ZHAO, X.S. **Graphene-based electrodes for electrochemical energy storage**. Energy Environ. Sci., 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236946113_Graphen-

based_electrodes_for_electrochemical_energy_storage.

Acesso em: Out. 2019.

ZARBIN, A. J. G.; OLIVEIRA, M. M. **Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis?**. Quím. Nova vol.36 no.10 São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422013001000009. Acesso em: Set. 2019.