

COLÉGIO SANTA MARIA MINAS – CORAÇÃO EUCARÍSTICO

Lucas Cenachi Camargos de Almeida

Thiago Pereira Figueiredo

Vinicius Inácio Guimarães De Filippo

APLICAÇÃO DO GRAFENO PARA PROTEÇÃO MECÂNICA DE SATÉLITES

Orientadores: Susan Joyce Gomes De Oliveira,
Arthur Schelb Filippini.

Belo Horizonte

2024

Resumo expandido

Segundo a Agência Espacial Europeia (ADILOV *et al.*, 2023), entre 80 e 100 milhões de dólares são perdidos anualmente em satélites geoestacionários devido a colisões com asteroides e resíduos espaciais. Além dos prejuízos econômicos, instituições espaciais enfrentam impedimentos e incertezas devido à dificuldade de prever interferências de corpos estranhos. Conforme SCHONBERG (2010), tradicionalmente se utiliza sistemas de múltiplas paredes com escudos protetores que quebram o projétil antes que ele atinja a estrutura principal dos satélites. No entanto, esses sistemas não têm sido totalmente eficazes, pois a quebra produz mais detritos que podem danificar o satélite de qualquer forma. A necessidade de desenvolver novos métodos de proteção, focados no bloqueio do projétil em vez de sua fragmentação, é evidente. Nesse contexto, destacou-se o grafeno, que apresenta propriedades mecânicas admiráveis, sendo leve, resistente e muito elástico, como descrito por MAHMOOD *et al.* (2010). Este artigo, alinhado com a ODS 9 da ONU (indústria, inovação e infraestrutura), analisa a resistência do grafeno, relacionando-a com conceitos teóricos relevantes da Química e da Física de Materiais, com o intuito de ratificar sua aplicabilidade nos escudos de satélites. Para isso, é necessário estudar as características básicas do grafeno; aprofundar em propriedades físico-químicas relevantes para a resistência mecânica de um modo geral; e relacionar as propriedades pesquisadas com a estrutura do grafeno. A fim de atingir esses objetivos, realizou-se uma revisão bibliográfica, analisando conceitos que fundamentam a resistência mecânica do grafeno. Consultou-se artigos científicos teóricos e experimentais, indexados em revistas A1, A2 e B1, conforme classificação Qualis Capes, por meio do Google Scholar e do ScienceDirect. Inicialmente, coletou-se informações acerca de propriedades físicas e químicas com relevância científica. A maior parte dessas propriedades não existe exclusivamente para justificar resistência mecânica. Portanto, buscou-se exclusivamente pelas seções dos artigos direcionadas à aplicação mecânica. Uma vez que utilizou-se apenas conceitos internacional e historicamente aceitos, a data de publicação não foi um critério de eliminação de artigos. Após uma profunda procura por diversas propriedades potencialmente relevantes, destacou-se a curvatura gaussiana e os defeitos de vacância como os conceitos que mais poderiam impactar o prosseguimento da pesquisa, passando-se a dar maior atenção a essas propriedades. Elas estariam

inevitavelmente associadas ao módulo de Young, já que esse foi o principal elemento de fundamentação numérica da pesquisa. Buscou-se então artigos que aplicavam teórica e experimentalmente tais propriedades de maneira exclusiva no grafeno, para que houvesse então uma coleta de dados relevantes que poderiam justificar sua resistência. Após coletados, os dados foram minuciosamente interpretados e aplicados na pesquisa. Em relação aos artigos que direcionavam o estudo ao grafeno, analisou-se apenas os publicados entre 2005 e 2024. Nos resultados, analisou-se separadamente o módulo de Young do grafeno, além dos efeitos dos defeitos de vacância e da curvatura gaussiana, para então propor uma aplicação prática das informações encontradas. Quanto ao módulo de Young, os cálculos teóricos de JIANG *et al.* (2009, p. 79) indicaram um limite proporcional do módulo de Young para o grafeno de 1 TPa. Ademais, uma vez que esses pesquisadores afirmam que os cálculos do módulo de Young do grafeno são semelhantes aos dos nanotubos, pode-se aplicar os resultados de TREACY *et al.* (1996, p. 680), que revelaram um limite elástico de cerca de 3.7 TPa em nanotubos, sendo todos esses números extremamente elevados. Em relação aos defeitos de vacância, LEE *et al.* (2005) comprovaram que se comportam como mecanismos temporários de defesa em situações de estresse. As vacâncias formam-se com o aumento substancial da temperatura. A contínua aplicação de energia promove a movimentação dessas vacâncias (0,94 eV por unidade deslocada), o que ocasiona uma renovação das ligações, revitalizando a estrutura. Coalescências também se formam, aumentando a área das vacâncias, o que diminui a barreira de energia (BE) (LEE *et al.* calcularam que a BE de vacâncias 555-777 era menor que a de 5-8-5 por 0,91 eV e menor que a de vacâncias separadas por 8,85 eV, indicando dissipação de energia). Coalescências possibilitam também a concentração da energia em pontos específicos, evitando ressonâncias desestabilizadoras. Conforme MARTINEZ e JALIL (2011), a curvatura gaussiana do grafeno é nula, já que k_1 - referente ao plano horizontal - é nulo, mesmo que k_2 - referente ao formato ondulatório no plano vertical - não seja. Uma curvatura gaussiana nula resulta em maior rigidez ao material ao ser flexionado, já que a estrutura tende a forçar retas no plano horizontal enquanto força-se deformações no plano vertical, similar a um par ação-reação. Isso torna o grafeno resistente à flexão, enrijecendo sua estrutura quando pressionado. Por fim, conclui-se nesta pesquisa que o grafeno poderia ser revestido externamente em escudos de materiais leves, como fibra de carbono, devendo ser mantido próximo ao satélite, mas

sem encostá-lo diretamente, já que, embora o grafeno não se quebre com impactos, ele não dissipa instantaneamente a energia. Um dos maiores desafios encontrados foi a falta de meios práticos para a realização da pesquisa, que precisou ser feita de forma unicamente teórica. Ainda assim, foi possível, ao final, atingir todos os objetivos, faltando apenas que se prossiga com as investigações de maneira experimental, a fim de verificar os resultados e desenvolver o sistema final, buscando também formas de baratear esse sistema, aprofundando os estudos em versões mais econômicas do grafeno, como o óxido de grafeno descrito por ZANDIATASHBAR *et al.* (2014).

7. Referências bibliográficas

ADILOV, Nadir. *et al.* An estimate of expected economic losses from satellite collisions with orbital debris. Fort Wayne: **Journal of Space Safety Engineering**, v. 10, n. 1, p. 66-69, 28 jan. 2023.ew Jersey: **Accounts of Chemical Research**, v. 21, n. 6, p. 243–249, 1 jun. 1988.

JIANG, J.-W. *et al.* Young's modulus of graphene: A molecular dynamics study. Singapore: **Physical Review B**, v. 80, n. 11, p. 113405(1-4), 23 set. 2009.

LEE, G.-D. *et al.* Diffusion, Coalescence, and Reconstruction of Vacancy Defects in Graphene Layers. Seoul: **Physical Review Letters**, v. 95, n. 20, p. 205501(1-4), 8 nov. 2005.

MAHMOOD, A. *et al.* Production, properties and potential of graphene. Toulouse: **Carbon**, v. 48, n. 8, p. 2127–2150, 2 fev. 2010.

MARTINEZ, J.C.; JALIL M.B.A. Gaussian curvature energy of graphene sheets. Singapore: **Physics Letters A**, v. 375, n. 24, p. 2437-2440, 7 mai. 2011.

SCHONBERG W. P. Protecting Earth-orbiting spacecraft against micro-meteoroid/orbital debris impact damage using composite structural systems and materials: An overview. Rolla: **Advances in Space Research**, v. 45, n. 6, p. 709-720, 15 mar. 2010.

TREACY, M. *et al.* Exceptionally high Young's modulus observed for individual carbon nanotubes. **Nature**, v. 381, p. 678-680, 20 jun. 1996.

ZANDIATASHBAR, A. *et al.* Effect of defects on the intrinsic strength and stiffness of graphene. Colorado: **Nature Communications**, v. 5, n. 1, 24 jan. 2014.