

## GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NA SOLDAGEM

RAFAEL OLIVEIRA DA MOTA<sup>1</sup>, JOSÉ BRANT DE CAMPOS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc. em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Aluno DSc. UERJ, Rio de Janeiro-RJ, rafaelmota3@yahoo.com.br;

<sup>2</sup>Dr. em Engenharia Metalúrgica, Prof. UERJ, Rio de Janeiro-RJ, brantjose@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico-Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Este trabalho objetivou apresentar o crescente interesse pela aplicação do grafeno por indústrias de produção em massa, particularmente no desenvolvimento de processos para as indústrias como a automobilística e a aeroespacial. Embora ainda haja limitação para aplicação em larga escala, diversos estudos ocorrem buscando a melhoria de processos fabris. Resultados preliminares promissores têm sido publicados no campo da soldagem, revelando que o grafeno pode ser em breve um grande protagonista na melhoria do desempenho de processos de fabricação em escala.

**PALAVRAS-CHAVE:** Grafeno,

## GRAPHENE AND ITS APPLICATION IN WELDING

**ABSTRACT:** This work aimed to present the growing interest in the application of graphene by mass production industries, particularly in the development of processes for industries such as automotive and aerospace. Although there is still a limitation for large-scale application, several studies are carried out seeking to improve manufacturing processes. Promising preliminary results have been published in the field of welding, revealing that graphene may soon be a major player in improving the performance of scale manufacturing processes.

## INTRODUÇÃO

O grafeno é um material que tem despertado a atenção da comunidade científica como um membro jovem e promissor devido às suas propriedades específicas para aplicações distintas e empolgantes no campo da nanotecnologia avançada entre muitos nanomateriais como nanoargila, nano-óxido de metal e nanotubos de carbono. A diversidade de aplicações do grafeno em sua relativamente curta história pós-descoberta, ilustra seu grande potencial de aplicação nos campos da eletrônica, optoeletrônica, eletroquímica, células fotovoltaicas, aeroespacial, dispositivos inteligentes e inteligentes, sensores, eletrodos supercapacitores flexíveis, microeletrônica, química analítica, gerenciamento térmico de parques de baterias de alta densidade de potência, eletrônicos de consumo e aplicações biomédicas que envolvem engenharia de enzimas, biocombustível e produção de energia, entre outras aplicações. No entanto, o uso comercial de grafeno dependerá do desenvolvimento de um método industrialmente viável de fabricação e manuseio. (ALMUTAIRI, JAWAID, et al., 2020)

A busca por aplicações do grafeno em indústrias de grandes setores ocorre de forma natural, embora ainda haja uma limitação quanto à produção em escala. Nesse sentido, as indústrias automobilística e aeroespacial são prováveis interessados em processos e melhorias associadas a esse novo material.

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia a ser utilizada para o presente estudo bibliográfico será o estudo exploratório que Cervo (2002) definiu como sendo o passo inicial no processo de pesquisa pela experiência e um auxílio que traz a formulação de hipóteses significativas, realizando descrições

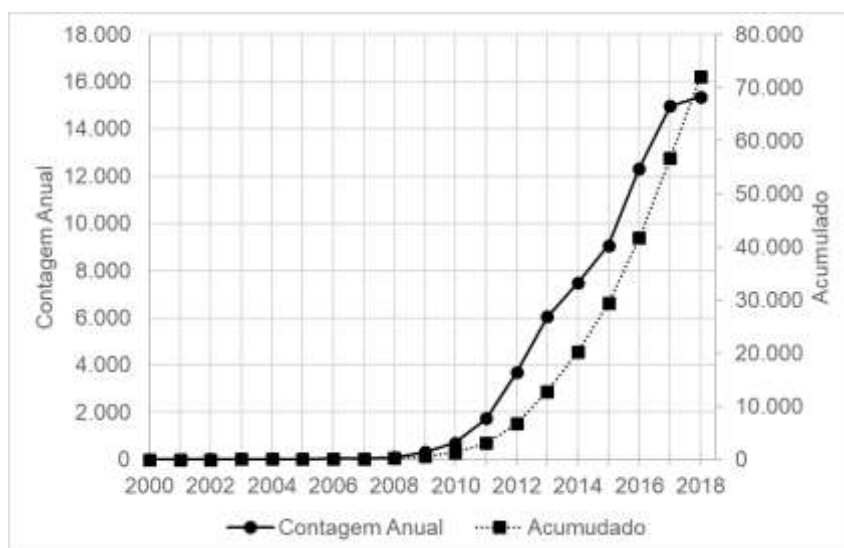
precisas da situação e busca descobrir as relações existentes entre os elementos componentes dela. Para este estudo foi realizado um levantamento bibliográfico com base em livros, revistas acadêmicas e artigos científicos voltados para área de sustentabilidade e recursos energéticos, que permitem que se tome conhecimento de material relevante, tomando-se por base o que já foi publicado em relação ao tema, de modo que se possa delinear uma nova abordagem sobre o mesmo.

Para o desenvolvimento do trabalho ainda foi utilizado o método qualitativo, que segundo Lakatos (2011) preocupa-se em analisar e interpretar os aspectos que descrevem a complexidade do comportamento dos fatos em análise, de forma mais detalhada sobre as investigações, atitudes e tendências envolvidas no processo. Diante disso foram utilizadas entrevistas qualitativas onde o processo é flexível e aberto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O avanço no interesse de pesquisadores e empresas pelo grafeno é corroborado pelo número crescente de pedidos de patentes ao longo dos últimos anos, apresentado na Figura 1.

Figura 1: Gráfico do número de publicações de pedidos de patentes no mundo entre 2000 e 2018.<sup>1</sup>



Fonte: O Autor.

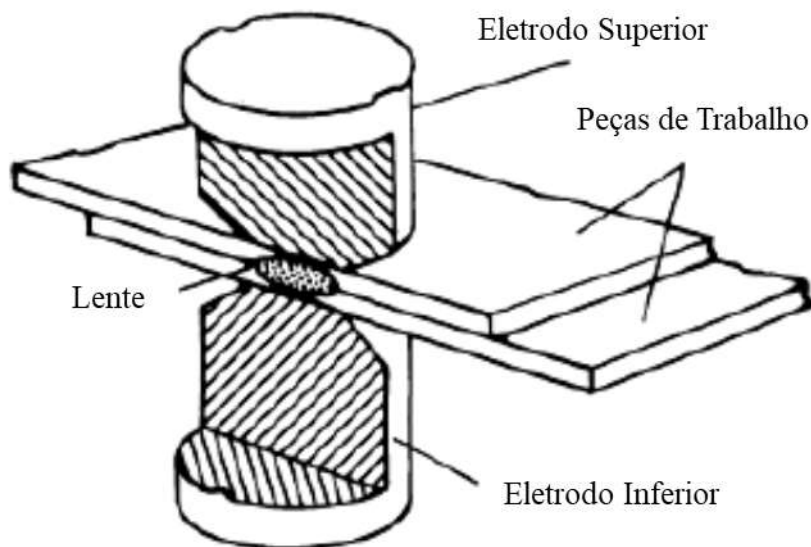
A soldagem por resistência abrange um grupo de processos nos quais o calor para a soldagem é gerado pela resistência ao fluxo de corrente elétrica através das peças que estão sendo unidas. Esses processos são mais comumente usados para soldagem de duas folhas ou chapas sobrepostas que podem ter espessuras diferentes. Um par de eletrodos prende as peças sob pressão para fornecer um bom contato elétrico e para conter o metal fundido na junta. Os eletrodos conduzem corrente elétrica através da junta; resistência ao fluxo de corrente aquece as superfícies deterioradas, formando uma solda. (ASM INTERNATIONAL, 1993)

A solda a ponto por resistência é a forma mais comum de soldagem por resistência. É um processo no qual superfícies de assentamento são unidas em um ou mais pontos sobrepostos pelo calor gerado pela resistência ao fluxo de corrente elétrica através das peças que são mantidas juntas sob força dos eletrodos. As superfícies de contato na região de concentração atual são aquecidas por um pulso de corrente de baixa voltagem e alta amperagem para formar uma lente fundida de metal de

<sup>1</sup> Gráfico elaborado pelo autor com base na presença do termo “*Graphene*” no título e/ou resumo dos pedidos de patente disponíveis no banco de dados bibliográfico do Escritório Europeu de Patentes (<https://worldwide.espacenet.com/patent/>). Apesar da disponibilidade dos dados de 2019, em função da probabilidade de alguns pedidos estarem em período de sigilo, ou seja, não publicados, e sendo este período variável por país, este ano foi retirado da pesquisa pela incerteza associada a informação. Pesquisa realizada em 22/05/2020.

solda. Quando o fluxo de corrente cessa, a força do eletrodo é mantida enquanto o metal de solda esfria e solidifica rapidamente. Os eletrodos são retraídos após cada solda, que geralmente é concluída em uma fração de segundo. O tamanho e o formato das soldas formadas individualmente são limitados principalmente pelo tamanho e contorno das faces do eletrodo. A lente da solda forma-se nas superfícies de contato, mas não se estende completamente às superfícies externas. Em uma seção transversal, conforme apresentado na Figura 2, a lente de uma solda a ponto formada adequadamente é arredondada ou oval; na vista plana, tem a mesma forma que a face do eletrodo (que geralmente é redonda) e aproximadamente do mesmo tamanho. Os pontos devem estar a uma distância suficiente da borda da peça para que haja metal base suficiente para suportar a força do eletrodo e garantir que a distorção local durante a soldagem não permita a expulsão de metal da solda. (ASM INTERNATIONAL, 1993)

Figura 2: Corte em seção do processo de soldagem a resistência por ponto.



Fonte: Adaptado de ASM INTERNATIONAL (1993).

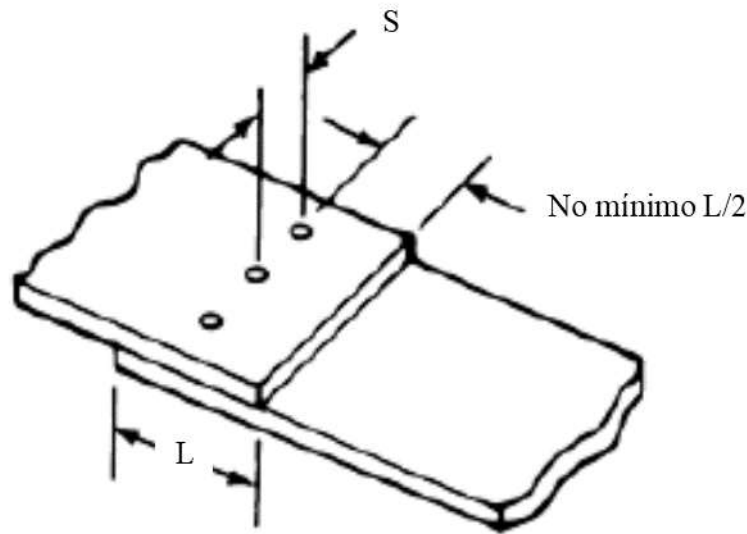
As juntas de sobreposição soldadas a ponto são amplamente utilizadas na união de chapas de aço de até 3,2 mm de espessura e são usadas ocasionalmente na união de aços de 6,4 mm ou mais de espessura. Espessuras de 25 mm ou mais já foram unidas por soldagem a ponto, mas isso requer equipamento especial e normalmente não seria econômico. Algumas limitações dimensionais para a soldagem a ponto por resistência em juntas sobrepostas de aços baixo carbono são apresentadas na Tabela 1. A Figura 2 apresenta um desenho esquemático de uma junta de sobreposição com os indicativos dimensionais mencionados referidos na Tabela 1. (ASM INTERNATIONAL, 1993)

Tabela 1: Limitações dimensionais para as juntas de soldagem a ponto por resistência de aços baixo carbono.

Espessura da Chapa [mm]	Espaçamento Mínimo entre Soldas (S) [mm]	Sobreposição Mínima de Material (L) [mm]
0,25	6,3	9,5
0,53	9,5	11
0,80	13	11
1,0	19	13
1,3	22	14
1,6	27	16
2,0	35	17
2,4	41	19
2,8	46	21
3,2	51	22

Fonte: Adaptado de ASM INTERNATIONAL (1993).

Figura 3: Desenho esquemático de uma junta de sobreposição.



Fonte: Adaptado de ASM INTERNATIONAL (1993).

A fim de melhorar o desempenho quanto à rapidez e eficácia das ligações entre componentes metálicos, nota-se um aumento na utilização de juntas adesivas ao invés dos métodos tradicionais de ligação, tais como soldagem, brasagem, ligações aparafusadas e rebitadas. As juntas adesivas apresentam como vantagem a redução de peso, redução das concentrações de tensões e maior facilidade nos processos fabris. Contudo, desvantagens também são percebidas, tais como a necessidade de preparo da junta e a possibilidade de efeitos de flexão provocados por cargas descentralizadas, dando origem a tensões normais na direção da espessura do adesivo, criando um efeito de arrancamento que afeta a resistência mecânica da junta. Ao combinar a ligação adesiva com a soldagem a ponto, são observadas vantagens quando comparadas às juntas adesivas tradicionais, tais como maior resistências, aumento de rigidez, maior resistência ao corte e arrancamento, além de melhor desempenho na resistência à fadiga. (MARQUES, 2014).

A nano-modificação de adesivos por grafeno foi estudada em juntas soldadas simplesmente sobrepostas por Neto, et al. (2016). Os pesquisadores concluíram que houve aumento significativo, 57%, na resistência à tração das juntas com 2% em peso de nanofolhas de grafeno.

Silva (2019) avaliou comparativamente duas técnicas de dispersão de óxido de grafeno (GO) e óxido de grafeno reduzido (RGO) em matriz de poliuretano. A partir de análises de microscopia foi possível concluir que os filmes poliméricos com nanocompósitos dispersos em ponteira ultrassônica apresentaram superfícies livres de aglomerados, ao contrário daquelas amostras que foram sintetizadas a partir de GO e RGO dispersos em ultrassom de bancada.

A soldagem por ponto de resistência de chapas de aço (AISI: 1008) incorporando uma camada intermediária de nanoplaquetas de grafeno (NPGs) foi estudada por Das, et al. (2019). A inclusão do revestimento intercalar de GNP foi alcançada por vazamento de solução e as placas de aço revestidas de GNP foram unidas pelo processo de soldagem a ponto. Verificou-se que a resistência da solda das chapas de aço unidas depende principalmente da corrente / tempo utilizado para o aquecimento por resistência elétrica. Foram realizados testes de cisalhamento para encontrar as forças de carga de pico das chapas de aço processadas em diferentes condições de corrente / tempo e a comparação foi feita entre as amostras nuas e revestidas com NPG. Também foi estudada a variação do tamanho da lente com diferentes parâmetros de corrente e tempo de soldagem. A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia óptica, MEV, AFM, espectroscopia Raman e DRX. Os PNB foram tipicamente encontrados ao longo dos limites dos grãos, o que levou ao aumento da resistência por mecanismos de fortalecimento dos limites dos grãos. Estudos de microdureza em toda a seção

transversal e um estudo completo da dureza do subsolo foram realizados e verificou-se que há um aumento na dureza devido ao aprisionamento de grafeno.

## CONCLUSÃO

O grafeno é um material que tem despertado o interesse dos pesquisadores em função da melhoria no desempenho de processos de união de materiais, a partir de pequenos teores de grafeno adicionado. Pesquisas têm sido realizadas no âmbito de processo fabris que irão necessitar de uma produção em massa de grafeno, sendo essa atualmente uma limitação para a aplicação em massa das técnicas já desenvolvidas.

## REFERÊNCIAS

- ALMUTAIRI, Z. et al. Chapter 1 - Introduction of graphene-based nanotechnologies. In: JAWAID, M.; AHMAD, A.; LOKHAT, D. Graphene-Based Nanotechnologies for Energy and Environmental Applications. [S.l.]: Elsevier, 2020. p. 3-21. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128158111000016>>. Acesso em: 01 Junho 2020.
- ASHRAFI, B. et al. Enhancement of mechanical performance of epoxy/carbon fiber laminate composites using single-walled carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*, 71, n. 13, 09 setembro 2011. 1569-1578. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353811002211#!>>.
- ASM INTERNATIONAL. *ASM Handbook - Welding, Brazing and Soldering*. [S.l.]: ASM International (American Society for Metals), v. 6, 1993.
- AVILA, A. F.; CRUZ, D. T. L. D. C.; NETO, A. S. Processo de Obtenção de Resina Polimérica Estrutural Modificada por Nanoestruturas de Carbono Produto e Uso. BR102014008543-2, 09 abr. 2014.
- CERVO, Amado L.; BERVIAN, Pedro A. *Metodologia científica*. 5. ed. São Paulo: Pearson Education, 2002.
- DAS, T.; SAHOO, B.; KUMAR, P.; PAUL, J.; Effect of graphene interlayer on resistane spot welded AISI-1008 steel joints. *Materials Research Express*, v. 6, n. 8. 2019.
- GOMES, D. R.; DE ANDRADE, H. M. AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E DUREZA DE JUNTAS HÍBRIDAS. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA - CEFET/RJ. Rio de Janeiro. 2015.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia Científica*. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 314 p.
- OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. *Administração de processos: conceitos-metodologias-práticas*. 6. ed. São Paulo: Gen/atlas, 2019.
- MA, P.-C. et al. Dispersion, interfacial interaction and re-agglomeration of functionalized carbon nanotubes in epoxy composites. *Carbon*, 48, n. 6, maio 2010. 1824-1834. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622310000515>>.
- MARQUES, G. P. Influência do tipo de adesivo em juntas híbridas soldadas-adesivas. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Porto. 2014.
- NETO, A. S.; CRUZ, D. T. L.; ÁVILA, A. F. Nano-modified Adhesive by Graphene: The Single Lap-Joint Case. *Materials Research*, 16, n. 3, 2016. 592-596.
- SILVA, A. E. D. L. Influência da dispersão do GO e RGO em nanocompósitos de poliuretano em aplicações de membranas para permeação de gases e em recobrimentos do aço API 5L X80. Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2019.