

NANOCOMPÓSITO DE COPOLÍMERO EM BLOCO COM ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO PARA A MELHORIA DAS PROPRIEDADES DE BLINDAGEM À INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICAS

Matheus Roberto Tomaz da Costa (IC) e Ricardo Jorge Espanhol Andrade (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

RESUMO

Com o aumento do uso de dispositivos eletroeletrônicos e o constante desenvolvimento de novas tecnologias que utilizam sistemas eletrônicos, a sociedade tende a incrementar em seu cotidiano o uso de tais tecnologias, além do constante uso desses dispositivos em tecnologias já utilizadas com certa frequência por empresas e grupos governamentais, tais como em aviões e foguetes que colocarão em órbita diversos satélites, com isso é necessário o desenvolvimento de materiais que possam blindar qualquer tipo de onda eletromagnética a fim de garantir a segurança no uso destes dispositivos e facilitar o desenvolvimento dessas tecnologias dependentes de sistemas eletrônicos. Neste trabalho foram obtidos nanocompósitos de copolímeros em bloco (estireno- etileno/butadieno - estireno SEBS) com nanopartículas de óxido de grafeno reduzido (rGO). Os nanocompósitos foram obtidos pelo processo de mistura no estado fundido, utilizando diferentes métodos de processamento. A redução do óxido de grafeno foi realizada com ácido ascórbico e sua presença nos nanocompósitos foi inferida através da técnica de espectro Raman. Suas propriedades reológicas foram analisadas por varredura de tempo e varredura da frequência, indicando uma ligeira alteração nas propriedades viscoelásticas. Finalmente, os resultados referentes à interferência eletromagnética indicam uma blindagem considerável com uma concentração de rGO relativamente baixa adicionado à matriz polimérica.

Palavras-chave: *Blindagem à interferência eletromagnética, SEBS, reologia.*

ABSTRACT

With the increase of the use of electronic devices and the constant development of innovative technologies that need electronic systems, the society tends to increase the daily use of such technologies, As well as the constant use of these devices in technologies already used with certain frequency by companies and governmental groups, such as in airplanes and rockets that will orbit several satellites, so it is necessary the development of materials that can shield any type of electromagnetic wave to ensure the safety in the use of these devices and to facilitate the development of these technologies dependent on electronic systems. In this work, nanocomposites of Styrene Ethylene Butylene Styrene (SEBS) with reduced

graphene oxide nanoparticles (rGO) were obtained. The nanocomposites were obtained by the melt blending process using different methods. The reduction of the graphene oxide was carried out with ascorbic acid and its presence in the nanocomposites was inferred through the technique of Raman spectrum. Its rheological properties were analyzed by time sweep and frequency sweep and indicate a slight change in the viscoelastic properties. Finally, results concerning electromagnetic interference indicate a considerable shielding with a relatively low percentage of rGO added to the polymer matrix.

Keywords: *Electromagnetic Interference Shielding, SEBS, rheology.*

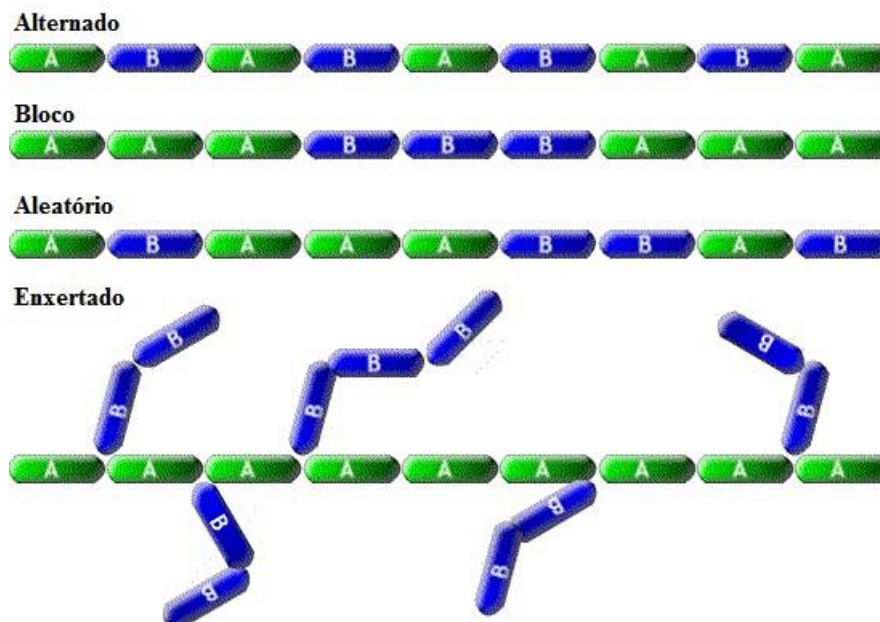
1 INTRODUÇÃO

Atualmente as aeronaves são essencialmente controladas por sistemas eletrônicos para implementar funções críticas com segurança. Estas aeronaves são expostas a campos radiativos de alta intensidade (HIRF), criados por radiofrequência (RF), sendo necessária a proteção para distúrbios eletromagnéticos (GEETHA *et al.*, 2009; SHEN *et al.*, 2016; VERMA *et al.*, 2015; WEN *et al.*, 2014; YANG *et al.*, 2005). Portanto, para permitir o uso de dispositivos eletrônicos nos sistemas de aeronaves em larga escala é necessário obter materiais com excelentes propriedades mecânicas, adesão e alta condutividade elétrica, que acometerá em uma melhoria da blindagem à interferência eletromagnética.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COPOLÍMERO EM BLOCO

Copolímero é um polímero que contém em sua cadeia dois ou mais diferentes monômeros imiscíveis, sendo possível obter diferentes distribuições dos mesmos, tais como, aleatória, alternada, bloco ou enxertado, como é possível ver na Fig 1 (KIM, HYUNWOO; ABDALA; MACOSKO, 2010).



Os copolímeros alternados contêm um padrão na sequência dos monômeros, enquanto os aleatórios não contêm qualquer tipo de padrão. No caso dos copolímeros em bloco os monômeros são agrupados em seções homogêneas da cadeia polimérica, formando domínios de cada um dos monômeros (dos mesmos), tais domínios são imiscíveis entre si e são conectados por meio de ligações covalentes, para os copolímeros classificados como

enxertados esses blocos estão dispostos em cadeias ramificadas da estrutura principal (KIM, HYUNWOO; ABDALA; MACOSKO, 2010; MAI *et al.*, 2000; MATSEN M.W., 1996).

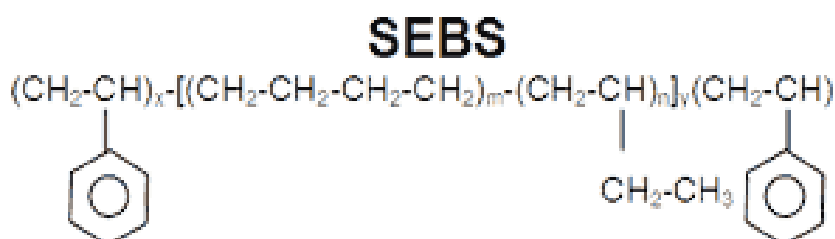
A quantidade de secções de monômeros homogêneos determina a estrutura do copolímero em bloco, que pode ser, dibloco, tribloco ou multibloco. Além disso, as estruturas dos copolímeros tendem a serem ordenadas ou desordenadas devido as influências termodinâmicas e o estado ordenado pode ser controlado termicamente.

Os copolímeros tribloco, assim como os dibloco, contêm dois diferentes monômeros que formam longas sequencias e se conectam por meio de ligações covalentes e formam diferentes morfologias, todavia a diferença entre um copolímero dibloco e tribloco reside na arquitetura molecular, em um copolímero tribloco os monômeros formam três blocos (A-B-A), enquanto o dibloco forma apenas dois (A-B). A morfologia de um copolímero tribloco depende de uma série de fatores, tais como, temperatura, peso molecular, fração de volume de cada bloco, sequência dos blocos na cadeia polimérica, magnitude relativa dos parâmetros interativos e composição geral (KIM, HO CHEOL *et al.*, 2010; MATSEN M.W., 1996).

A morfologia de um copolímero tribloco é muito mais complexa que a de um dibloco e pode ser caracterizada como lamelar, esférica e cilíndrica, havendo diferentes configurações para cada monômero na cadeia polimérica (KIM, HO CHEOL *et al.*, 2010; MATSEN M.W., 1996).

Stadler *et al* conclui que a morfologia é definida pela fraca incompatibilidade dos blocos finais ao invés de ser definida pela forte incompatibilidade dos blocos do meio. Sabe-se que variar a fração de volume do bloco do meio enquanto mantêm os outros blocos constantes produz morfologias de nanodomínios que são possíveis de serem notadas facilmente.

Copolímeros em bloco possuem duas propriedades diferentes, pois obtêm suas propriedades dos diferentes homopolímeros, sendo possível aplica-los em diversas áreas industriais. O SEBS é um copolímero em bloco elastômero termoplástico (TPE), pois possui características elastoméricas e pode ser processado como um termoplástico, isso ocorre pelo fato de apresentar em sua cadeia molecular blocos formados por fases rígidas, que é o poliestireno (PS), e sua fase flexível, poli-etileno-butadieno (PEB) (CHEN; LAI; CHEN, 2008).



2.2 NANOCOMPÓSITOS

Nanocompósitos são materiais que possuem uma matriz polimérica e uma fase dispersa, que são partículas de dimensão nanométrica. O acréscimo de nanopartículas no copolímero em bloco pode influenciar sua fase de transição dependendo do local onde forem inseridas, como também é possível observá-las como ordem-ordem ou ordem-desordem. Além disso as nanopartículas podem influenciar o tamanho dos nanodomínios. A localização das nanopartículas na matriz polimérica pode produzir estresse na interface onde dois blocos se conectam, resultando num decréscimo na entropia conformacional do polímero, um aumento no tamanho das nanopartículas pode fazer com que os copolímeros sejam incapazes de armazená-las, resultando em uma separação de macro-fase (KIM, HO CHEOL *et al.*, 2010).

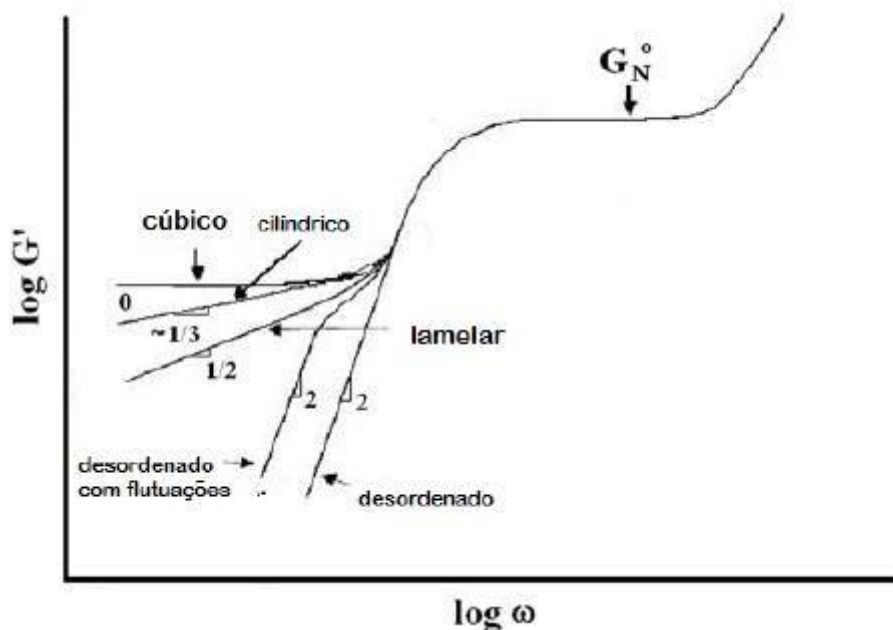
O acréscimo de nanopartículas visa a melhora de diferentes propriedades, tais como, reológicas, mecânicas, elétricas e térmicas. O acréscimo de grafeno, particularmente, já mostrou melhorar muitas dessas propriedades, Salavagione *et al* demonstrou que o uso de grafeno modificado com polietileno pode facilitar a dispersão do mesmo na fase de deficiência de elétrons do SEBS (fase etilênica), resultando numa melhora substancial da condutividade elétrica do material (CHEN; LAI; CHEN, 2008; KIM, HO CHEOL *et al.*, 2010).

As fases matriz e reforço podem apresentar diferentes dispersões. Quando o polímero e as partículas possuem uma grande afinidade a dispersão será denominada como esfoliada, pois o óxido de grafeno reduzido está totalmente esfoliado, portanto ele estará completamente disperso na matriz polimérica. Quando a afinidade entre a matriz e o reforço é baixa as partículas terão dimensões micrométricas, e, portanto, resultarão num compósito convencional. Para o objetivo que está sendo proposto, a dispersão esfoliada é a mais aconselhada, pois causa um número significativo de alterações nas propriedades poliméricas, devido a maximização das interações entre a fase reforço e a matriz.

É possível analisar a estrutura morfológica do nanocompósito ao utilizar caracterizações específicas, por exemplo, a microscopia eletrônica de transmissão, que fornece uma imagem obtida por um microscópio eletrônico de varredura. Além disso, é possível utilizar o espalhamento de raios-X a baixo ângulo (SAXS) e/ou difração de Raio – X, que permite analisar a estrutura do material em nano escala para verificar o tamanho das partículas, forma, distribuição e razão entre área e volume, com tal análise é possível concluir o que fora analisado pela eletromicrografia.

2.3 REOLOGIA DE COPOLÍMERO EM BLOCO

A reologia pode ser utilizada para identificar o tipo de morfologia que o copolímero em bloco possui, na seguinte figura o comportamento reológico é verificado após as amostras serem testadas utilizando ensaios SAOS (*small amplitude oscillatory shear*).

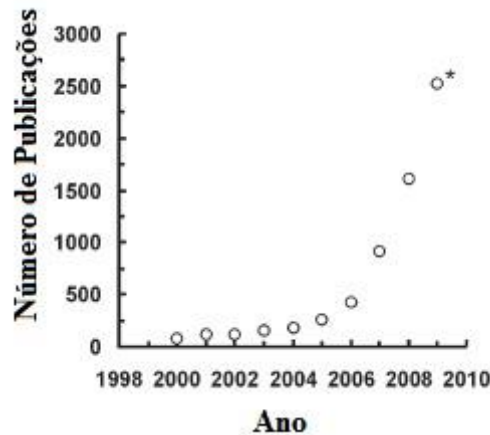


O comportamento da microestrutura do copolímero em bloco pode ser verificado utilizando parâmetros de cisalhamento no regime de viscoelasticidade linear à baixas frequências, com exceção do copolímero com estrutura cúbica, os demais copolímeros com diferentes morfologias apresentam uma dependência muito grande do ω em baixas frequência, tais efeitos são relacionados com o estado de orientação e ordenação da estrutura (CHOI; LEE; HAN, 2004).

É possível medir a viscoelasticidade de um material em dois regimes diferentes, são eles, a viscoelasticidade linear e não-linear, sendo este corresponde a uma situação onde a deformação aplicada é maior e mais rápida e sendo aquele responsável pela análise de um sistema cujo seja levemente perturbado e as moléculas deixam seu estado de equilíbrio momentaneamente.

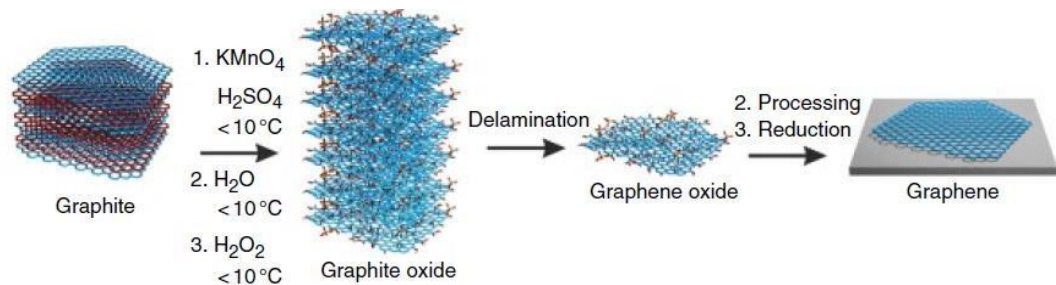
2.4 GRAFENO

Geim e Novoselov foram laureados com o Nobel de Física em 2010 por seus experimentos inovadores com o grafeno bidimensional, desde então as pesquisas científicas sobre grafeno e outros materiais bidimensionais aumentaram exponencialmente, como é possível observar no gráfico seguinte.



O óxido de grafite pode ser obtido por diferentes métodos de esfoliação mecânica e química e o método mais utilizado atualmente é o Método de Hummers, que fora desenvolvido em 1957 após Hummers e Offeman observarem que os métodos já existentes colocavam em risco as pessoas que o estavam utilizando, logo, criaram um método mais seguro e eficiente que os de Brodie e Staudenmaier (BRODIE, 2010; HUMMERS; OFFEMAN, 1958).

Para a obtenção do óxido de grafeno é necessário utilizar o Método de Hummers modificado, que é apresentado na figura a seguir.



O grafeno é composto por átomos de carbono hibridizados- sp^2 arranjados em uma estrutura bidimensional, resultando numa área superficial maior. Se comparados com os nanotubos de carbono, os materiais feitos com grafeno provem uma área superficial maior e uma dispensabilidade melhor na maioria dos solventes. A adição de funcionalidades de oxigênio na estrutura altera o estado original do grafeno para um estado hibridizado sp^3 . Devido a essa alteração na estrutura original do grafeno, o óxido de grafeno se torna um

material eletricamente isolante, pela quebra das ligações sp^2 , para que a condutividade elétrica seja recuperada, é necessário restaurar a rede π , por isso a redução é uma das reações mais importantes para óxidos de grafeno. Com sua estrutura bidimensional totalmente conjugada e rígida, o grafeno possui propriedades elétricas, térmicas e mecânicas superiores aos dos nanotubos de carbono, por isso o grafeno se tornou o alótropo de carbono mais promissor no meio científico e industrial (KLEMPERER; MAHARAJ, 2009; WEN *et al.*, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 INFRAESTRUTURA

Para o desenvolvimento do trabalho experimental da pesquisa foi utilizada a infraestrutura do “Centro de Pesquisas Avançadas em Grafeno, Nanomateriais e Nanotecnologias – MackGraphe”, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, assim como outros equipamentos pertencentes ao Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais da Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados nesse projeto foram o copolímero em bloco Poliestirenopoli(etileno-butadieno)-poliestireno (SEBS), contendo 30% de Poliestireno (PS) – G1652 – fornecido pela empresa Kraton. A partícula 2D utilizada foi o óxido de grafeno (GO), obtido por meio da oxidação da grafite *via* método de Hummers modificado (HUMMERS; OFFEMAN, 1958). Para obtenção do óxido de grafeno reduzido (rGO) utilizou-se o ácido ascórbico.

3.3 MÉTODO DE OBTENÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

A reação de obtenção de óxido de grafeno pelo método de Hummers é baseada em duas etapas: i) oxidação do grafite natural. Neste processo a grafite é oxidada pelo óxido de manganês (VII), obtido por meio da reação entre ácido sulfúrico e permanganato de potássio. Passado o período reacional necessário, é feita uma diluição com a adição de um volume conhecido de água, logo após acrescenta-se peróxido de hidrogênio. O sólido formado é filtrado, sendo lavado com diversos solventes e seco em estufa a 50 °C por 24 horas; ii) o material seco é agora denominado óxido de grafite (Gr-O). Este método é comumente denominado método de Hummers. Após a obtenção do Gr-O, o mesmo é disperso em água -

em proporções conhecidas - através de banho de ultrassom, levando a formação de dispersões de óxido de grafeno (GO). Em seguida, é feita a filtragem e assim o GO é obtido na forma sólida. Essa etapa do projeto foi realizada em colaboração com o pesquisador Dr. Pablo Muñoz e a aluna de Iniciação Científica Alice Machado.

A redução do óxido de grafeno foi realizada utilizando dois métodos diferentes, sendo que o primeiro consiste no acréscimo de ácido ascórbico via bomba peristáltica durante a extrusão do nanocompósito(SEBS+GO), que foi retirado da rotaevaporação. No segundo método foi realizada a evaporação à pressão reduzida do SEBS puro inserido em água DI junto a uma suspensão de óxido de grafeno com ácido ascórbico. Para a análise dos diferentes métodos, um masterbatch de 2% foi feito.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

As técnicas de espectroscopia Raman e análise Termogravimétrica (TGA) foram utilizadas para a caracterização do GO. A espectroscopia Raman auxiliou na identificação do óxido de grafeno (por meio das intensidades e posicionamentos das bandas D, G e 2D do óxido de grafeno) e a análise termogravimétrica (TGA) avaliou a perda de massa obtida em altas temperaturas. Além disso, para a análise do óxido de grafeno reduzido foi necessário diluir o nanocompósito em THF para isolar a nanopartícula utilizada, após a filtragem da solução a espectroscopia Raman foi utilizada para a caracterização do óxido de grafeno reduzido.

3.5 PROCESSAMENTO DOS NANOCOMPÓSITOS

O projeto visa investigar a redução do óxido de grafeno, para isso, foi necessário a obtenção dos nanocompósitos via evaporação à pressão reduzida, em que o SEBS puro foi inserido junto a uma suspensão de óxido de grafeno com ácido ascórbico em água DI.

Posteriormente, o nanocompósito de 2 wt% de GO foi processado em extrusora dupla rosca com perfil de temperatura na faixa de 210 – 230 °C. Na tabela 4 são apresentados os parâmetros utilizados para o processamento. O processamento foi realizado numa extrusora modular de laboratório de dupla rosca, a Thermo Scientific Proccess 11 com L / D = 40 mm, conforme as condições de processamento, tais como, temperatura, velocidade da rosca e vazão mássica.

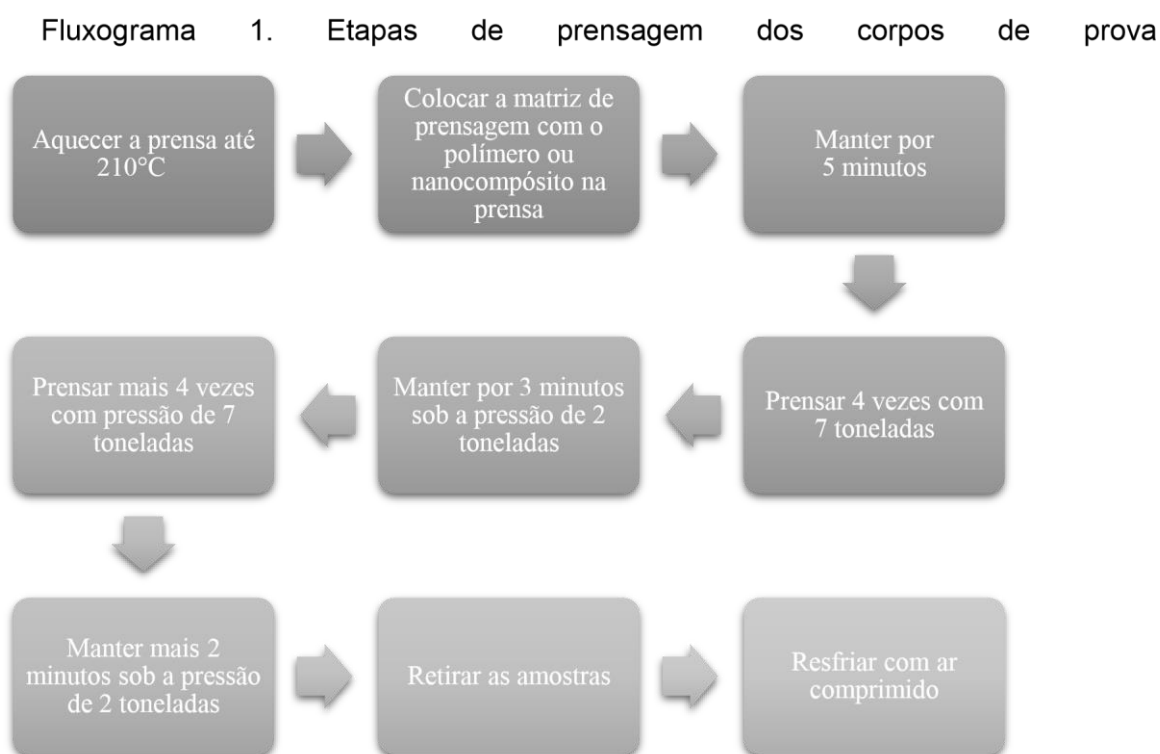
Tabela 1 - Perfil de temperatura do processamento

	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Matriz
Temperatura (°C)	210	215	220	225	230	230	220	215

3.6

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para realização dos ensaios reológicos foram prensados corpos de prova discoidal com dimensões de 1 mm de espessura e 25 mm de diâmetro, utilizando a prensa hidráulica com aquecimento da Solab, modelo SL 12/20. Os discos foram prensados à 210°C com parâmetros pré-definido. A rota de prensagem está apresentada no fluxograma 1:



3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS NANOCOMPÓSITOS

3.7.1 Caracterização Morfológica

Utilizou-se a Espectroscopia Raman para a caracterização morfológica. O ensaio em Espectroscopia Raman foi realizado em filmes de SEBS e do nanocompósito com 2% de GO, com espessura entre 90 - 120 μm , no espectrômetro de microscópio confocal Witec Alpha

300R, lente objetiva de 50X e o laser 532 nm (2,33 eV). Os resultados foram tratados no software Witec.

3.7.2 Caracterização Reológica

Os ensaios reológicos foram realizados utilizando um reômetro rotacional Anton Paar MCR 102, utilizando geometria de placas paralelas e gap 1 mm. Foram determinados os módulos de armazenamento (G') e perda (G'') em função da frequência angular através de ensaios de cisalhamento oscilatório à pequenas amplitudes. Inicialmente foram realizados ensaios de varredura de deformação para três frequências angulares distintas (100; 1 e 0,1 rad/s), faixa de deformação 0,1-100 % e temperatura 210 °C. A **Erro! Fonte de referência não encontrada**. Apresenta o módulo de armazenamento (G') em função da deformação para o SEBS puro e o nanocompósito com 2wt% de concentração de GO.

Após obter o valor de deformação na região de viscoelasticidade linear foi realizado ensaio de varredura de tempo, que consiste em verificar a resistência à temperatura do material polimérico e nanocompósito durante o ensaio reológico. Em seguida, foram realizados ensaios de varredura de frequência, obtendo as curvas dos módulos G' e G'' em função da frequência angular.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Reologia

A Figura 1 apresenta o comportamento viscoelástico do SEBS puro e nanocompósitos (SEBS/rGO) obtidos pelos dois diferentes métodos. Na Figura 1a) é possível observar a estabilidade morfológica do SEBS puro durante a varredura de tempo, com o comportamento constante de G' e G'' . No entanto, ocorre alteração desse comportamento com a adição de rGO. Nota-se que após 20 minutos de ensaio o módulo de armazenamento (G') aumenta consideravelmente, indicando uma possível instabilidade na estrutura do nanocompósito devido a presença das nanopartículas. Além disso, pode ser observado o decréscimo do módulo de perda (G'') devido às propriedades lubrificantes do rGO, diminuindo assim a viscosidade do material. A resposta reológica em função do tempo corrobora com a resposta de varredura de frequênciaa Figura 1b), assim como a diminuição de G'' devido à inserção do rGO.

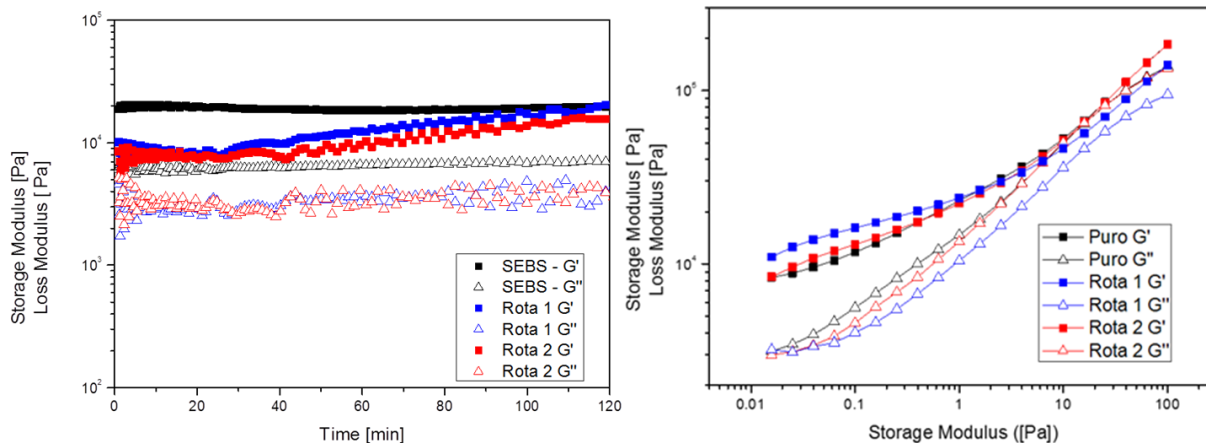


Figura 1 - Curvas de módulos de armazenamento (G') e perda (G'') em função a) do tempo e b) da frequência angular para o SEBS puro e seus nanocompósitos obtidos pela Rota 1 e Rota 2.

4.2 Espectroscopia Raman

A Figura 2 apresenta a espectroscopia Raman do óxido de grafeno em comparação com os nanocompósitos após a filtração em THF dos mesmos. A banda D da espectroscopia Raman indica a presença dos grupos funcionais de oxigênio e os defeitos de borda, enquanto a banda G indica a presença de carbono na estrutura analisada. Assim sendo, é possível afirmar que em ambos os métodos de processamento pode ter ocorrido a redução do óxido de grafeno, pois é possível observar uma diminuição qualitativa na intensidade da banda D de ambas as rotas, indicando que houve uma diminuição na quantidade de grupos funcionais de oxigênio.

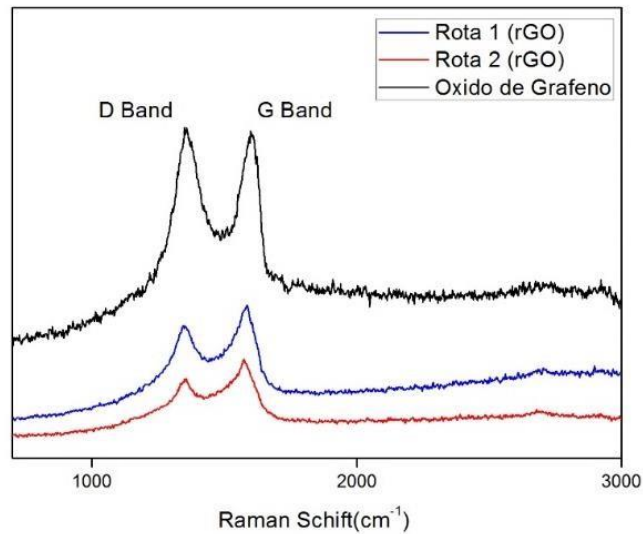


Figura 2 - Espectro Raman para o óxido de grafeno e nanocompósitos processados com diferentes rotas.

4.3 Blindagem à Interferência Eletromagnética

Na Figura 3 é apresentada a resposta dos nanocompósitos em ambos os métodos de processamento num espectro de onda eletromagnética. Nota-se que a resposta à onda eletromagnética dos nanocompósitos de ambos os métodos de processamento foi semelhante, uma vez que os valores percentuais obtidos de blindagem à interferência eletromagnética são 0,79% para o método 1 e 0,82% para o método 2, sendo similares entre si. Deve-se referir que cálculos foram realizados levando em consideração a perda de eficiência para o guia de onda (*waveguide*). Na literatura é possível encontrar nanocompósitos com alta eficiência na blindagem à interferência eletromagnética com altas concentrações de nanotubo de carbono e híbridos (KUESTER *et al.*, 2016), contudo, no nosso caso foi apresentado que a blindagem pode ser adquirida à baixas concentrações.

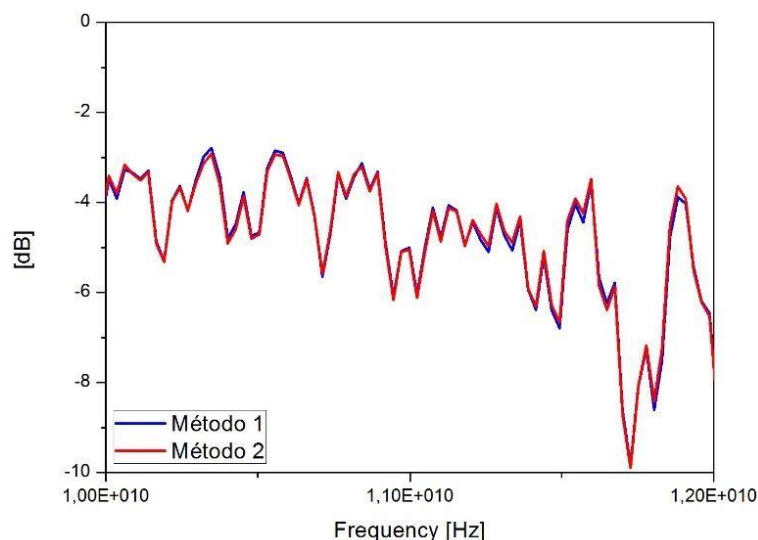


Figura 3 - Espectro de onda eletromagnética para os nanocompósitos de SEBS com rGO obtidos pelos dois métodos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dos resultados obtidos podemos concluir que ambos os métodos de processamento de mistura no estado fundido mostraram-se eficiente para a obtenção de nanocompósitos de SEBS contendo óxido de grafeno reduzido. Os resultados do espectro de Raman mostraram que é possível obter em ambos os métodos o óxido de grafeno reduzido e os resultados reológicos acrescentam que houve um efeito direto com a inserção do rGO à matriz polimérica SEBS. Por fim, é possível observar que ambos os nanocompósitos indicam blindagem à interferência eletromagnética após o acréscimo de óxido de grafeno reduzido, todavia é importante salientar que os resultados foram obtidos com uma concentração de 2% de rGO, o que indica que o acréscimo de partícula é diretamente proporcional a melhora na blindagem do material.

6 REFERÊNCIAS

BRODIE, Benjamin C. Graphite oxide. *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 1, p. 1–4, 2010. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20023850>>.

- CHEN, Wen-Chih; LAI, Sun-Mou; CHEN, Chun-Ming. Preparation and properties of styrene–ethylene–butylene–styrene block copolymer/clay nanocomposites: I. Effect of clay content and compatibilizer types. *Polymer International Polym Int*, v. 57, p. 515–522, 2008.
- CHOI, Soobum; LEE, Kyung Min; HAN, Chang Dae. Effects of triblock copolymer architecture and the degree of functionalization on the organoclay dispersion and rheology of nanocomposites. *Macromolecules*, v. 37, n. 20, p. 7649–7662, 2004.
- GEETHA, S *et al.* EMI shielding: Methods and materials - A review. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 112, n. 4, p. 2073–2086, 2009.
- HUMMERS, William S.; OFFEMAN, Richard E. Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society*, v. 80, n. 6, p. 1339–1339, 1958. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja01539a017>>.
- KIM, Ho Cheol *et al.* Block copolymer based nanostructures: Materials, processes, and applications to electronics. *Chemical Reviews*, 2010.
- KIM, Hyunwoo; ABDALA, Ahmed A; MACOSKO, Christopher W. *Graphene/polymer nanocomposites. Macromolecules*. [S.l: s.n.], 2010
- KLEMPERER, Christopher J Von; MAHARAJ, Denver. Composite electromagnetic interference shielding materials for aerospace applications. *Composite Structures*, v. 91, n. 4, p. 467–472, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.04.013>>.
- KUESTER, Scheyla *et al.* Electromagnetic interference shielding and electrical properties of nanocomposites based on poly (styrene-b-ethylene-ran-butylene-b-styrene) and carbon nanotubes. *European Polymer Journal*, v. 77, p. 43–53, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.02.020>>.
- MAI, Shao Min *et al.* Microphase-separation behavior of triblock copolymer melts. Comparison with diblock copolymer melts. *Macromolecules*, 2000.
- MATSEN M.W., Schick M. Self-assembly of block copolymers. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, v. 1, n. 2011, p. 329–336, 1996.
- SALAVAGIONE, Horacio J. *et al.* Development of Advanced Elastomeric Conductive Nanocomposites by Selective Chemical Affinity of Modified Graphene. *Macromolecules*, 2016.
- SHEN, Bin *et al.* Compressible Graphene-Coated Polymer Foams with Ultralow Density for Adjustable Electromagnetic Interference (EMI) Shielding. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2016.

STADLER, Reimund *et al.* Morphology and Thermodynamics of Symmetric Poly(A-block-Bblock-C) Triblock Copolymers. *Macromolecules*, v. 28, n. 9, p. 3080–3097, abr. 1995.

VERMA, Pawan *et al.* Excellent electromagnetic interference shielding and mechanical properties of high loading carbon-nanotubes/polymer composites designed using melt recirculation equipped twin-screw extruder. *Carbon*, 2015.

WEN, Bo *et al.* Reduced graphene oxides: Light-weight and high-efficiency electromagnetic interference shielding at elevated temperatures. *Advanced Materials*, v. 26, n. 21, p. 3484–3489, 2014.

YANG, Yonglai *et al.* Novel carbon nanotube - Polystyrene foam composites for electromagnetic interference shielding. *Nano Letters*, 2005.

Contatos: matheusrtcosta@outlook.com