

NANOCOMPÓSITOS DE PSEUDOBOEMITA (TRATADA COM POLIACRILATO DE SÓDIO) E POLIESTIRENO

Willian Venancio Lemos Belino e Antonio Hortencio Munhoz Junior

Apoio: CNPq/Mackenzie/Santander

RESUMO

A empresa UNIGEL (<https://www.unigel.com.br/>) produz poliestireno de alto impacto e assim possuindo interesse no desenvolvimento de nanocompósitos que apresentem melhores propriedades que os polímeros puros. Neste trabalho foram produzidos nanocompósitos de pseudoboemita liofilizada com poliestireno de alto impacto. Para auxiliar a dispersão das nanopartículas de pseudoboemita foi testado a octadecilamina. Trata-se de um trabalho inédito que poderá resultar em um novo produto com melhores propriedades mecânicas que o poliestireno puro. Trabalhos anteriormente realizados com pseudoboemita e poliestireno da UNIGEL (<https://www.unigel.com.br/>) já apresentaram melhores propriedades térmicas que poliestireno puro. Os nanocompósitos são materiais em que pelo menos um de seus componentes apresentam dimensões nanométricas, e geralmente apresentam melhores propriedades quando comparados com os compósitos convencionais. Poliestireno é um homopolímero de adição muito versátil podendo ser usado como poliestireno comum, de alto impacto ou expandido, podendo ser encontrado em várias composições com diferentes resistências ao impacto sendo utilizado na área automobilística, ferramentas, mobílias, embalagens entre outras. Com o objetivo de melhorar as propriedades do poliestireno muitas pesquisas são relatadas na literatura sobre nanocompósitos de poliestireno. Tem-se como objetivo a obtenção de nanocompósito de matriz polimérica (poliestireno) através da adição de nanopartículas de pseudoboemita tratada com poliacrilato de sódio e octadecilamina, e assim avaliar as propriedades dos diferentes compósitos obtidos por várias técnicas de caracterização.

Palavras-chave: nanocompósitos; pseudoboemita; poliestireno.

ABSTRACT

The company UNIGEL (<https://www.unigel.com.br/>) produces high impact polystyrene and is thus interested in the development of nanocomposites that present better properties than pure polymers. To aid the dispersion of pseudoboehmite nanoparticles in the polymer, sodium polyacrylate and octadecylamine were tested. This outstanding work may result in a new product with better mechanical properties than pure polystyrene. Research previously carried out with pseudoboehmite and polystyrene from UNIGEL (<https://www.unigel.com.br/>) have

already presented better properties than virgin polystyrene. Nanocomposites are materials in which at least one of their components have nanometric dimensions and generally have better properties when compared to conventional composites. Polystyrene is a very versatile addition homopolymer that can be used as an ordinary, high impact or expanded polystyrene and can be found in various compositions with different impact resistance being used in the automotive area, tools, furniture, packaging, among others. To improve polystyrene properties, many researchers reported in the literature on polystyrene nanocomposites. We aim to obtain a polymer matrix nanocomposite (polystyrene) through the addition of pseudoboehmite nanoparticles treated with sodium polyacrylate and octadecylamine and thus evaluate the properties of the different composites obtained by various characterization techniques.

Keywords: nanocomposites; pseudoboehmite; polystyrene.

1. Introdução

Os compósitos poliméricos são materiais formados pela união de dois ou mais materiais com o objetivo de se obter um produto de melhor qualidade que a matriz polimérica que o originou. Os nanocompósitos são materiais em que pelo menos um de seus componentes apresentam dimensões nanométricas, e geralmente apresentam melhores propriedades quando comparados com os compósitos convencionais. Poliestireno é um homopolímero de adição muito versátil podendo ser usado como poliestireno comum, de alto impacto ou expandido, podendo ser encontrado em várias composições com diferentes resistências ao impacto sendo utilizados na área automobilística, ferramentas, mobílias, embalagens entre outras. Com o objetivo de melhorar as propriedades do poliestireno muitas pesquisas são relatadas na literatura sobre nanocompósitos de poliestireno (SILVA, 2013; BIANCHI et alii, 2012).

O início oficial dos estudos da nanotecnologia atribui-se a Richard Feynman, em uma palestra proferida em 1959: *"There is plenty of room at the bottom"* a partir de então, os diversos campos de pesquisa da área de física teórica, passaram a considerar o vasto assunto da nanotecnologia, criando uma nova rede de interações, investigações, divulgação e ensino. Entre as pesquisas na área de nanomateriais estão os nanocompósitos.

1.1 Objetivos Geral e Específicos

Obtenção de nanocompósito de matriz polimérica (poliestireno) através da adição de nanopartículas de pseudoboemita tratada com poliácrlato de sódio e octadecilamina.

Avaliar as propriedades dos diferentes compósitos obtidos por várias técnicas de caracterização.

A caracterização do nanocompósito foi realizada pelo ensaio de dureza e ensaios mecânicos tração.

2. Descrição da inovação tecnológica

A empresa UNIGEL (<https://www.unigel.com.br/>) produz poliestireno de alto impacto (HIPS) e tem interesse no desenvolvimento de nanocompósitos que apresentem melhores propriedades que os polímeros puros. A referida empresa vem apoiando as pesquisas para obtenção de nanocompósitos de pseudoboemita fornecendo reagentes para a realização das pesquisas realizadas na UPM. Trata-se de uma proposta para agregar valor ao HIPS para utilizar o material em aplicações mais nobres.

3. Proposta de solução

Serão produzidos nanocompósitos de pseudoboemita liofilizada com poliestireno de alto impacto (high impact polystyrene - HIPS). Para auxiliar a dispersão das nanopartículas de pseudoboemita foi testada a octadecilamina. Na proposta inicial também iriam ser

produzidos compósitos de HIPS com octadecilamina e poliacrilato de sódio, mas devido a pandemia não foi possível produzir estes corpos de prova. Trata-se de um trabalho inédito que poderá resultar em um novo produto com melhores propriedades mecânicas que o poliestireno puro. Trabalhos realizados anteriormente com pseudoboemita e poliestireno da Unigel já apresentaram melhores propriedades térmicas que poliestireno puro (MUNHOZ JUNIOR et al, 2019).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Poliestireno de Alto Impacto (HIPS high impact polystyrene) é um copolímero graftizado. É um polímero termoplástico resultante da polimerização de monômeros de estireno por iniciação química utilizando peróxidos ou pela temperatura (térmica). Devido ao fato de o poliestireno ser muito frágil a temperatura ambiente, adiciona-se polibutadieno, para melhorar a resistência ao impacto do HIPS. Este é um dos polímeros mais importantes entre os materiais poliméricos produzidos industrialmente, sendo produzido em processo batelada a mais de 50 anos. Muitos trabalhos na literatura tratam da produção de compósitos de poliestireno com o objetivo de obter compósitos anti-chama (FELIX, 2010; BOTELHO, 2006; COELHO, 2008). Compósitos de poliestireno com fosfato de cálcio também apresentaram melhores propriedades térmicas que poliestireno puro (THOMAS, 2019).

Os compósitos de poliestireno são estudados não só para obtenção de compósitos com melhores propriedades térmicas, mas também para as aplicações mais inusitadas possíveis. Trabalho publicado recentemente trata da produção de um nanocompósito de poliestireno com sílica para obtenção de um material super hidrofóbico utilizado na separação de derivados do petróleo (LATTHE, 2019).

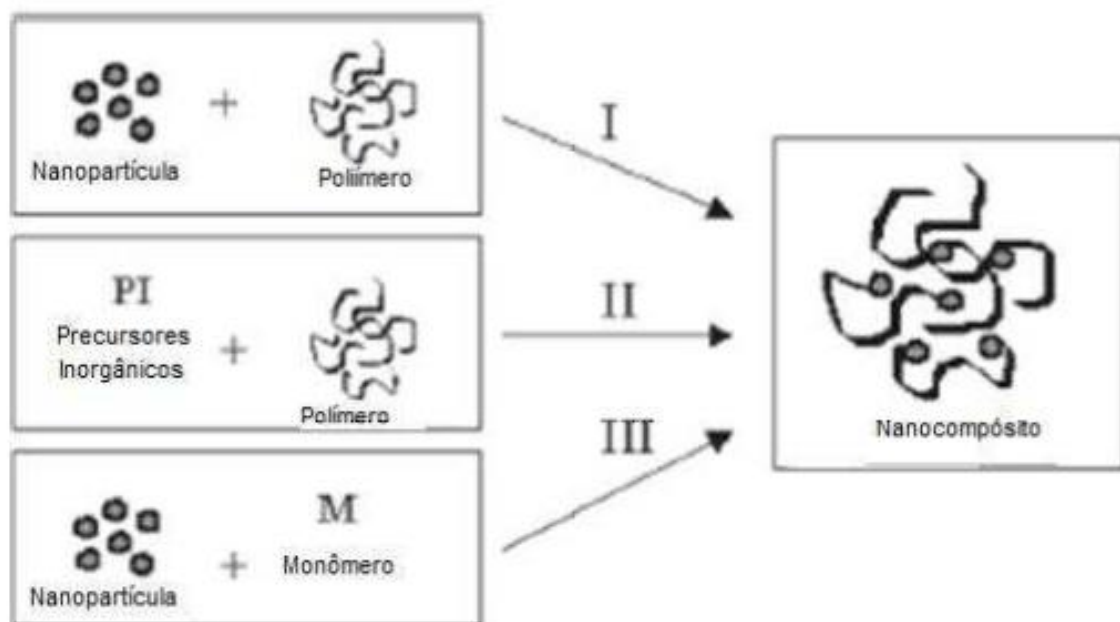
Nanomateriais são materiais cujas dimensões (ou pelo menos uma delas) apresentam-se em ordem nanométrica (10^{-9} m). A escala nano geralmente é considerada para materiais com dimensões que variam de 1 a 100 nm. Essas nanopartículas possuem propriedades e características que não são compartilhadas por partículas fora da nanoescala. Para uma partícula de dimensões nanométricas, a porcentagem de átomos na superfície comparada a quantidade de átomos no interior da partícula é muito maior. A redução do tamanho de partícula para dimensões nanométricas também aumenta a interação da partícula com a sua vizinhança. Tal fato colabora para o aumento da energia superficial das partículas e para que as forças de Van der Waals sejam relevantes, entre outros (CAO e WANG, 2011; GOGOSTI, 2006; GODDARD ET AL 2002).

Os materiais compósitos consistem na combinação adequada de propriedades de dois ou mais tipos de materiais sendo ao menos dois deles de grupos de materiais distintos. Por grupos de materiais se entende os 4 principais grupos: cerâmicos, metais, polímeros e vidros.

Essa combinação é feita com o objetivo de se obter propriedades que não são observadas em nenhum dos materiais individualmente mantendo-se parte das propriedades características do material principal, denominado matriz (ASKELAND, PHULÉ, 2008).

Nos nanocompósitos a interação das nanopartículas com a matriz também é mais efetiva devido à grande área de superfície específica que irá disponibilizar uma área maior para adesão das nanopartículas à matriz polimérica. O grau de organização das nanoestruturas e suas propriedades dependem da natureza dos componentes orgânicos e inorgânicos, de sua estrutura e das interações sinérgicas que podem ser geradas, bem como a estratégia de síntese adotada para a produção do nanocompósito, que pode ser uma mistura simples de componentes (I), uma preparação das partículas *in situ* (II) ou uma polimerização *in situ* (III), conforme a Figura 1 (PINNAVAIA, BEALL; 2000).

Figura 1: Estratégias de síntese de nanocompósitos: mistura simples de componentes (I), preparação das partículas *in situ* (II) polimerização *in situ* (III). Fonte: (PINNAVAIA, BEALL; 2000).



A composição de um material compósito é dividida em duas partes:

Matriz: é a base do material compósito. Além de conferir a estrutura ao material é a responsável por suas propriedades básicas. A escolha do tipo de reforço e quantidade adicionada é sempre feita analisando as propriedades do material que compõe a matriz. A matriz de um material compósito obrigatoriamente é caracterizada em um dos três grandes grupos de materiais, ou seja, todo material compósito tem como matriz um material cerâmico, metálico ou polimérico.

Reforço: é o material da adição. Para que um material seja classificado como compósito, ao menos um material utilizado como reforço deve ser de um grupo de materiais diferente do grupo do material base do compósito (matriz) ou possuir uma forma diferente (como por exemplo as fibras de carbono e aramida). A adição do reforço faz com que as propriedades e características do material adicionado tenham influência nas propriedades da matriz, obtendo dessa forma uma melhoria nas propriedades (que podem ser mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas, ópticas, reológicas, químicas, entre outras) para uma determinada aplicação. Os reforços não precisam necessariamente apresentar-se na forma de fibras, podendo aparecer como *whiskers*, partículas, fibras curtas ou lâminas, dependendo apenas da finalidade de sua adição.

Vários trabalhos publicados na literatura tratam da utilização de pseudoboemita como na produção de nanocompósitos. Pseudoboemita pode ser obtida pelo processo sol-gel (MUNHOZ Jr, MIRANDA, UEHARA; 2006). Vidros e cerâmicas podem ser obtidos a partir de precursores moleculares e da formação de uma rede de óxidos via reações de polimerização inorgânica. Esta metodologia de preparação, que desde a década de 70 tem atraído muito interesse por parte da indústria, é conhecida como processo sol-gel.

A química do processo sol-gel é baseada na hidrólise e posterior condensação de precursores moleculares, isto é, soluções de um composto metálico que se transforma numa massa sólida. As reações de hidrólise seguidas de condensação das espécies hidratadas formam uma rede de partículas coloidais ou cadeias poliméricas lineares. A polimerização restringe a difusão química e a segregação. O gel é secado, calcinado, e finalmente moído para a obtenção de um pó. É um processo realizado a baixas temperaturas. O processo sol-gel, como o nome indica, envolve a formação de uma suspensão de partículas muito finas de tamanho coloidal dispersas num líquido (sol), e sua transformação numa rede contínua (gel).

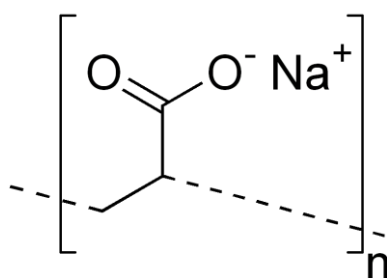
A pseudoboemita ($\text{AlOOH} \cdot x\text{H}_2\text{O}$) é um composto de alumínio sendo um dos precursores das diferentes fases da alumina. A transformação do óxido de alumínio para a forma hexagonal (α -alumina) não ocorre diretamente. Pela calcinação da pseudoboemita obtém-se as fases metaestáveis da alumina de acordo com a equação 1 (SANTOS, FARIA e SANTOS, 2002).



Muitos autores (TOTTENHORST, 1980; TSUKADA, 1999; MISHRA, 2000; KIYOSHI, 2002) estudaram o efeito da temperatura de envelhecimento nas propriedades (área específica, cristalinidade, capacidade de adsorção), das pseudoboemitas utilizando alcóxidos como precursores. Observaram que o envelhecimento altera a morfologia das partículas do produto obtido pelo processo sol-gel, e consequentemente as propriedades dele.

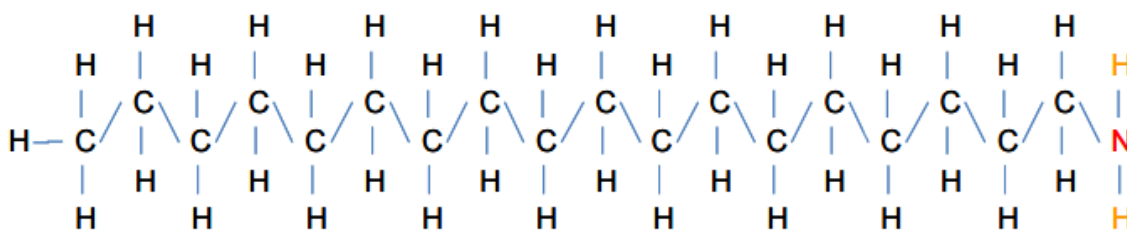
Recentemente, muitos trabalhos foram publicados na literatura sobre a síntese de pseudoboemitas e suas aplicações na liberação controlada de fármacos e nanocompósitos mostrando a importância deste material (MUNHOZ et alii, 2015, MUNHOZ et alii, 2015^a). Trabalho publicado recentemente na literatura mostrou que um compósito de pseudoboemita apresentou uma grande quantidade de aglomerados na matriz polimérica (MUNHOZ JUNIOR et al, 2019). Um dos materiais utilizados para evitar a aglomeração de partículas de α -alumina é o poliacrilato de sódio (ABREU, 2011). Sendo assim a utilização de poliacrilato de sódio para dispersar partículas de pseudoboemita seria testada nesta pesquisa, Figura 2.

Figura 2 poliacrilato de sódio



Um dos materiais utilizados para melhorar a acoplagem de argilas e aluminas em materiais poliméricos é a octadecilamina. Assim sendo também será testada a adição de octadecilamina ao nanocompósito. A octadecilamina (ODA), Figura 3, é um sal produzido por hidrogenação catalítica da octadecanonitrila ($\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{N}$) que é um produto obtido a partir do ácido esteárico. Este é um ácido graxo saturado de 18 carbonos que pode ser encontrado no sebo bovino, no coco e na soja. Octadecilamina pode ser utilizada na organofilização de argilas e alumina, sendo um agente de acoplagem promissor para a produção de nanocompósitos de pseudoboemita com poliestireno. Este processo consiste em fixar moléculas orgânicas com grupos polares aos cátions interlamelares das argilas por exemplo. Neste caso a intercalação da octadecilamina na estrutura da argila é avaliada através da variação do espaçamento interplanar basal (PAIVA, MORALES, DÍAZ, 2008).

Figura 3 – Estrutura da Octadecilamina



5. Avaliação de desempenho

5.1 Metodologia experimental

Foram sintetizadas pseudoboemitas pelo processo sol gel. As pseudoboemitas obtidas foram tratadas com octadecilamina de acordo com procedimento desenvolvido por Zapata e colaboradores (2008).

A caracterização do nanocompósito foi por ensaio de tração e dureza shore D.

Os compósitos obtidos foram caracterizados pelos ensaios de tração utilizando a máquina universal de ensaios Zwick Roell, utilizando-se uma célula de carga de 10 kN previamente calibrada.

O ensaio de dureza de Dureza Shore D foi realizado utilizando um durômetro Mitutoyo Hardmatic.

5.2 PROCEDIMENTO

Para obtenção da pseudoboemita foi utilizado o procedimento descrito na literatura por Munhoz e colaboradores (MUNHOZ et al, 2019). Foram produzidos 3 lotes de pseudoboemita. O primeiro foi utilizado para fazer o compósito com um 1% em massa de pseudoboemita (calculada em relação ao HIPS) e os demais foram utilizados para fazer o compósito com 3% de pseudoboemita.

Foram produzidos 2 lotes de compósitos e para cada lote um tratamento diferente foi realizado. O primeiro foi produzido com 1% em massa de pseudoboemita tratada com octadecilamina em relação a massa de HIPS e o segundo com 3% em massa de pseudoboemita. Não foi possível produzir os lotes com pseudoboemita e poliácrlato de sódio devido ao fato de o laboratório ter sido fechado durante a pandemia. Todos dados obtidos foram analisados e comparados entre os compósitos e com o HIPS puro.

Devido a paralisação das atividades de pesquisa experimental no laboratório devido a pandemia, as amostras de pseudoboemita ficaram algum tempo (vários meses) armazenadas em um refrigerador no próprio laboratório da instituição. Com a volta das atividades foi

necessário medir o potencial zeta do material para verificar se as partículas ainda estavam dispersas.

Foi medido o potencial zeta para as 3 primeiras amostras, já que chegaram ficar mais de 6 meses armazenadas. Para cada medida a amostra foi preparada adicionando 0,1g material em 100 ml de água destilada. A suspensão formada foi mantida em um agitador ultrassônico (Elmasonic P) durante 30 minutos para em seguida, a caracterização do material ser realizada à temperatura ambiente. A medida do potencial zeta foi realizada no equipamento Anton Paar Litesizer 500.

Após o ensaio de potencial zeta, as amostras foram congeladas e liofilizadas no liofilizador LS3000 da marca Terroni equipado com bomba de vácuo da marca Agilent, modelo IDP-15.

6. Resultado experimental e análise

6.1 Teste de potencial ZETA

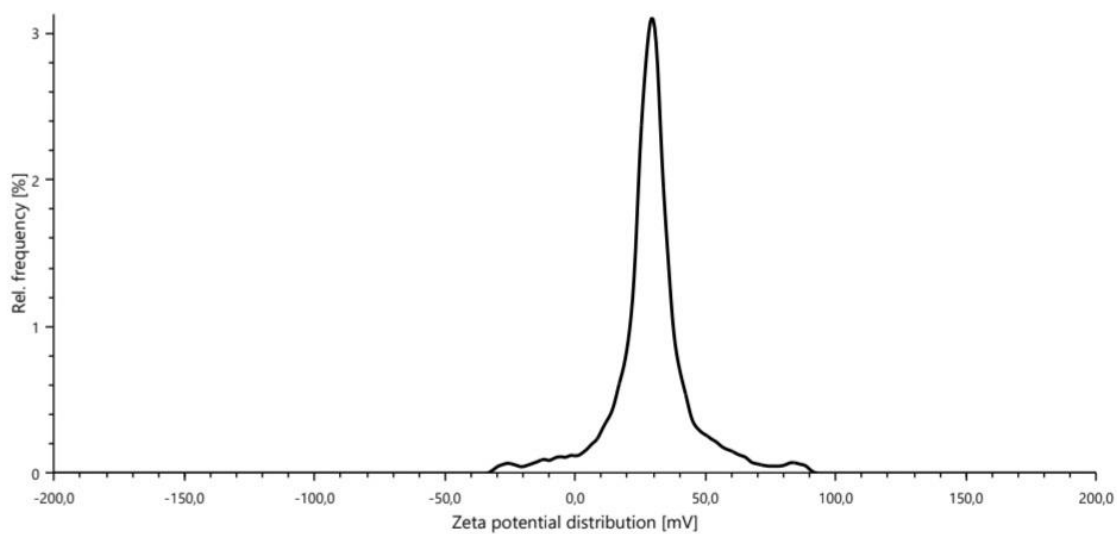
No geral o potencial deve ser maior que 20 em módulo e quanto maior for melhor, como o esperado era o potencial ir amentando para a amostra com menos tempo de armazenamento. Os resultados são apresentados na Tabela 1 e Figura 4. Verificou-se que as partículas continuavam dispersas em uma suspensão estável.

Tabela 1. Resultados do potencial zeta das amostras de pseudoboemita.

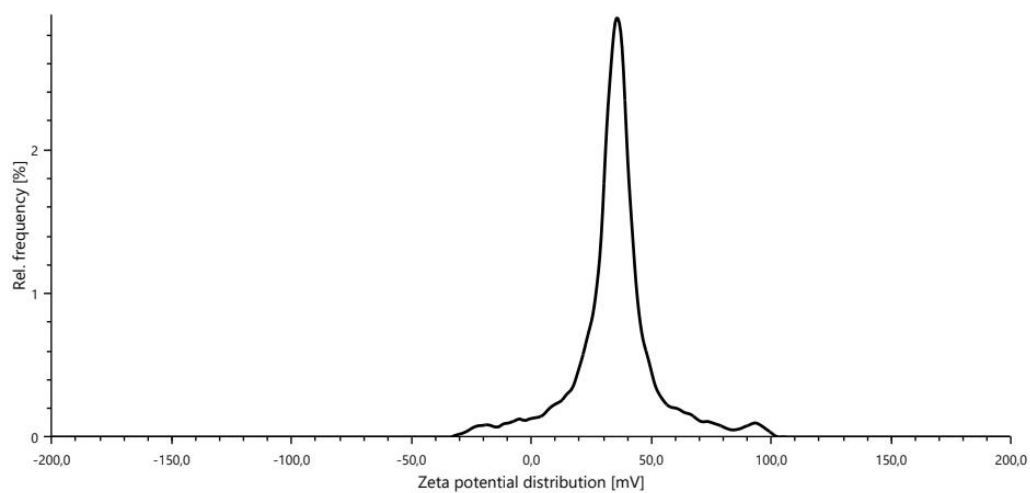
Amostras	Potencial zeta (mV)
PSB 1	26,7
PSB 2	32,6
PSB 3	42,8

Figura 4. Resultados dos ensaios das amostras de potencial zeta das amostras de pseudoboemita. a) amostra PSB1, b) amostra PSB2, c) amostra PSB3

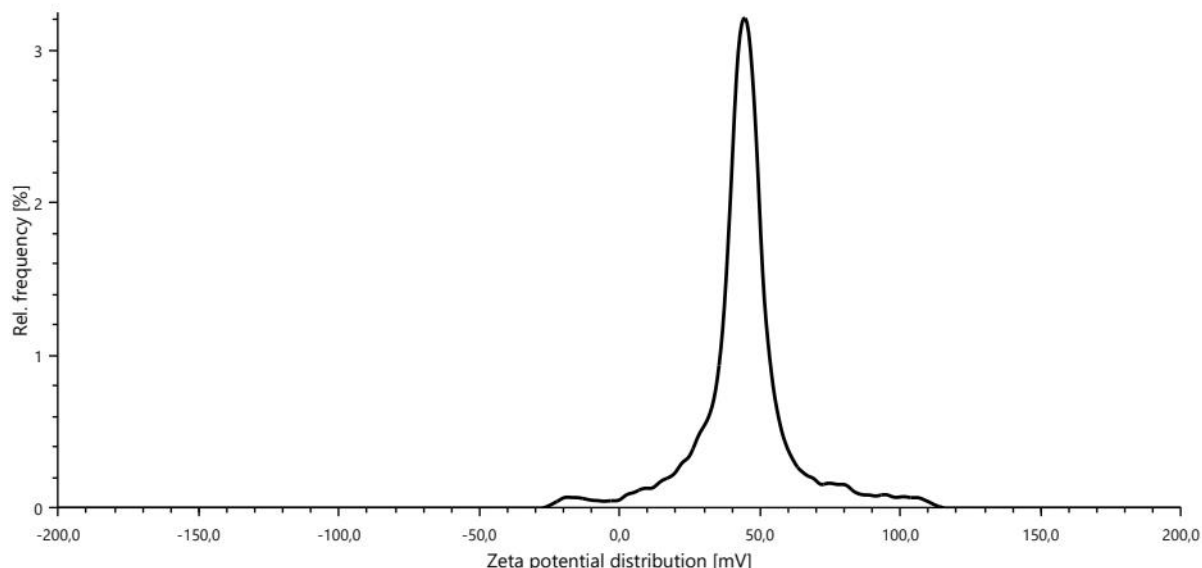
a) Potencial ZETA PSB 1



b) Potencial ZETA PSB 2



c) Potencial ZETA PSB 3



6.2 Ensaio de dureza

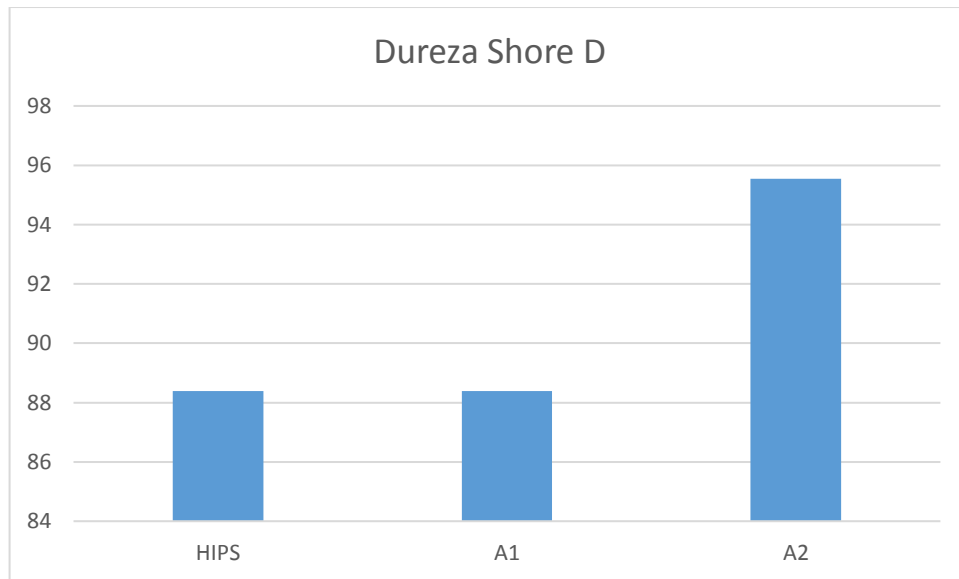
Para uma melhor análise do real efeito causado pela carga nanométrica no compósito também foram realizados ensaios para a amostra do polímero virgem para comparação. As amostras de compósito contendo pseudoboemita são a amostra A1(HIPS com 1% de PSB tratada com ODA) e a amostra A2 (HIPS com 3% de PSB tratada com ODA).

O ensaio de dureza realizado foi o shore D com os resultados apresentados na tabela 2 e na Figura 5.

Tabela 2. Dureza Shore D dos compósitos e do HIPS puro

CP	HIPS	A1	A2
1,00	88,50	88,00	97,00
2,00	88,00	89,00	94,50
3,00	88,00	88,50	94,50
4,00	89,00	89,00	95,50
5,00	88,50	88,50	96,00
6,00	88,00	88,00	94,50
7,00	89,00	88,00	96,50
8,00	88,50	89,00	95,50
9,00	88,00	88,00	97,00
10,00	88,00	89,00	94,50
11,00	88,50	88,00	97,00
12,00	89,00	88,00	94,00
13,00	88,00	88,00	95,50
Média	88,38	88,38	95,54
DesvPad	0,40	0,45	1,05

Figura 5. Dureza Shore D



6.3 Ensaio de tração

Para uma melhor análise do real efeito causado pela carga nanométrica na matriz polimérica foram realizados ensaios da amostra do polímero virgem como base. Os dados da amostra A1(HIPS com 1% de PSB tratada com ODA) e a amostra A2 (HIPS com 3% de PSB tratada com ODA) foram comparados com o HIPS puro.

Os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade são apresentados na Figura 6 e os gráficos de tensãoxdeformação são apresentados na Figura 7.

Figura 6. Comparação dos resultados do módulo de elasticidade

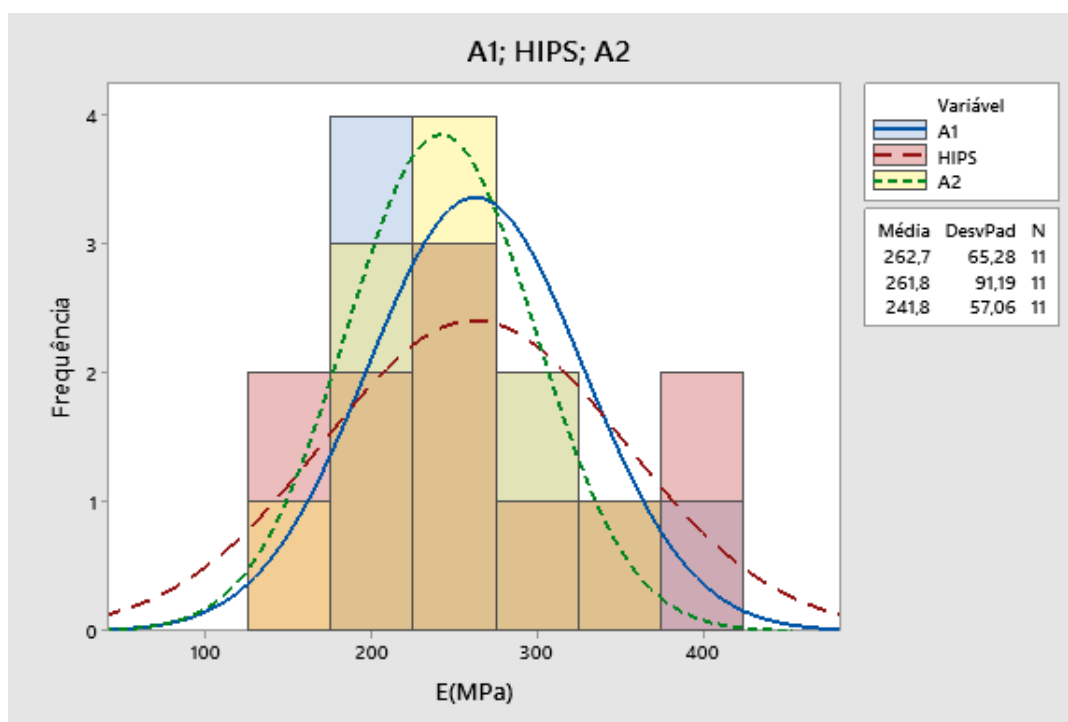
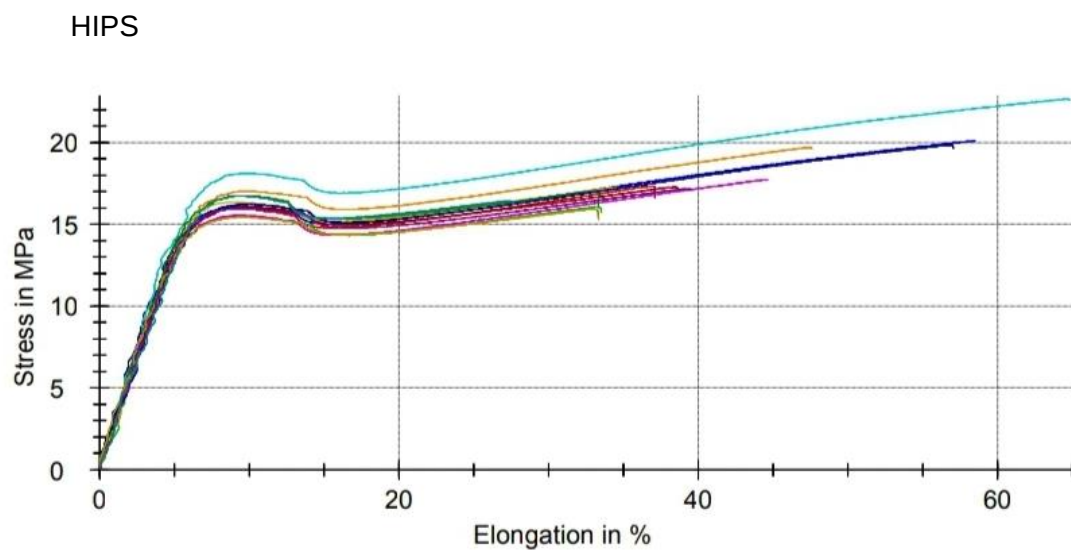
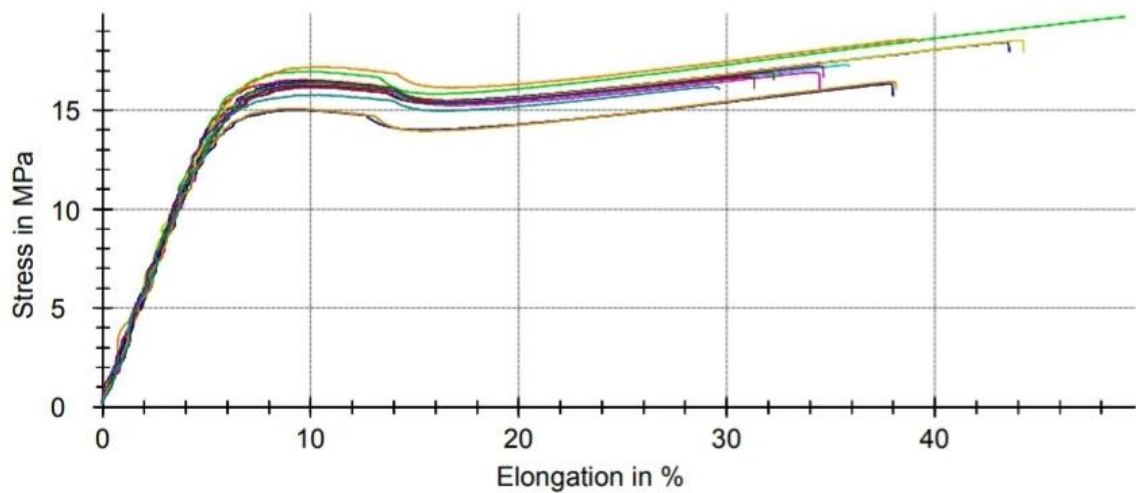


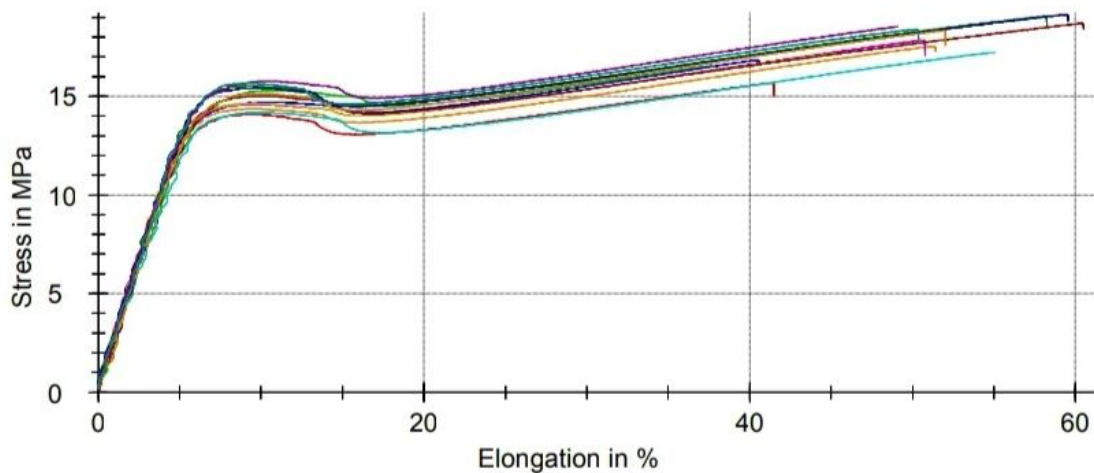
Figura 7. Resultados dos ensaios de tensão x deformação



A1



A2



7. Conclusão e expectativas futuras

Sabendo que o teste de potencial Zeta (ζ) verifica a estabilidade das suspensões, e se $\zeta > 20$ e $\zeta < -20$ o material terá uma boa dispersão. Podemos dizer através dos resultados do teste que a pseudoboemita obtida, mesmo armazenada por 6 meses na geladeira se manteve uma dispersão estável, mostrando que essa iniciação tecnológica caminha abrindo novas portas para a ciência.

Através dos resultados do ensaio de dureza podemos dizer que a adição da PSB tratada com ODA fez um aumento de dureza de 8,10% e que só ocorreu uma mudança significativa com a mostra de teor de 3% de PSB tratada com ODA.

Analisando o ensaio de tração podemos dizer que a adição de PSB tratada com ODA gerou um aumento de 8,6% no modulo de elasticidade (E), foi possível ver um esse aumento a partir do teor de adição de 1% de pseudoboemita ao compósito.

A PSB tratada com ODA promove mudança na tenacidade do material, a área sob a curva resultante do ensaio de tração aumenta com o aumento do teor de PSB tratado com ODA.

Pode-se afirmar também que enquanto PSB tratada com ODA promove mudança significativa na dureza apenas para o teor de 3%, para o módulo de elasticidade já ocorre com o teor de 1%.

8. PUBLICAÇÕES REALIZADAS COM O RESULTADO DAS PESQUISAS:

MUNHOZ JR., ANTÔNIO HORTÊNCIO; MIRANDA, L. F. ; BELINO, W. V. L. . Nanocompósito de pseudoboemita-poliestireno de alto impacto. In: 64 CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 2020, Águas de Lindóia. 64 CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. São Paulo: Associação Brasileira de Cerâmica, 2020. v. 1. p. 3-3.

9. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L. Caracterização e dispersão em meio aquoso da α -Alumina com tamanho de partícula submicrométrico e nanométrico. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2813>. Acesso em: 18 mar. 2019.

ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep Prabhakar. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

BIANCHI, O.; REPENNING, G. B.; MAULER, R. S.; OLIVEIRA, R. V. B. & CANTO, L. B. - Polímeros, 22, p.125, 2012.

BOTELHO, K.T. Síntese de argilas organofílicas e sua incorporação em polimerização in situ para a obtenção de nanocompósitos antichamas de poliestireno; Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2006

CAO, G. e YING WANG, NANOSTRUCTURES AND NANOMATERIALS – SYNTHESIS PROPERTIES, AND APPLICATIONS, NEW JERSEY, WORLD SCIENTIFIC, 2011

COELHO, C.P.D. Obtenção e caracterização de nanocompósitos de poliestireno e argilas esmectíticas. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de materiais e metalúrgica, São Paulo, 2008.

FELIX, T. Produção de compósitos e nanocompósitos de poliestireno de alto impacto com propriedades anti-chamas, Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2010

GODDARD, W.A. ET AL (EDITORES), HANDBOOK OF NANOSCIENCE ENGINEERING, AND TECHNOLOGY, NY, CRC PRESS, 2002

GOGOTSI, YURI (EDITOR), NANOMATERIALS HANDBOOK, BOCA RATON, TAYLOR & FRANCIS, 2006

KIYOSHI, O. et alii, Relationship between formation conditions, properties and crystallite size of boehmite, Journal of colloid and interface science, 253, 308-14, 2002

LATTHE, S.S. et alii. Superhydrophobic Leaf Mesh Decorated with SiO₂ Nanoparticle–Polystyrene Nanocomposite for Oil–Water Separation, ACS Appl. Nano Mater., 2019, 2 (2), pp 799–805

MISHRA, D. et al, Mater. Lett. 42,38, 2000.

MUNHOZ JR, A. H., MIRANDA, L. F., UEHARA, G. N. Study of pseudoboehmite by sol-gel synthesis. AST - Advances in Science and Technology. , v.45, p.260 - 265, 2006.

MUNHOZ JUNIOR, ANTÔNIO HORTENCIO; PACHECO, CAROLINE VALADÃO; MELO, HENRIQUE TADEU T. S.; PERES, RENATO MENEGHETTI ; SILVA, LEONARDO GONDIM DE ANDRADE E ; MIRANDA, LEILA FIGUEIREDO DE ; ROMERO FILHO, MARCOS . Characterization of a Composite of High-Impact Polystyrene, Pseudoboehmite and Graphene Oxide. In: Bowen Li, Jian Li, Shadia Ikhmayies, Mingming Zhang, Yunus Eren Kalay, John S. Carpenter, Jiann-Yang Hwang, Sergio Neves Monteiro, Chenguang Bai, Juan P. Escobedo-Diaz, Pasquale Russo Spena, Ramasis Goswami. (Org.). The Minerals, Metals & Materials Series. 1ed.Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2019, v. 1, p. 511-522.

MUNHOZ JR, A. H. ; DE PAIVA, H. ; de Miranda, Leila Figueiredo ; DE OLIVEIRA, E.C. ; CONS ANDRADES, R. ; NETO, ABNER CABRAL . Synthesis and Characterization of Pseudoboehmite and Gamma-Alumina. Materials Science Forum, v. 820, p. 131-136, 2015.

MUNHOZ JR, A. H. ; MASSON, T.J. ; de Miranda, Leila Figueiredo ; CABRAL NETO, A. ; Cons Andrades, R. ; ROSSI, M.V. . The Synthesis of Pseudoboehmite Using Factorial Experimental Design. Defect and Diffusion Forum, v. 365, p. 226-231, 2015a.

PAIVA, L. B.; MORALES, A. R.; DIAZ, F. R. V.; Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. *Cerâmica*. v. 54, p. 213-226, 2008.

PINNAVAIA, T.J. E BEALL, G.W. (editores). *Polymer–Clay Nanocomposites*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK, 2000

SANTOS, P. S.; FARIA, F.P.; SOUZA SANTOS, H. Spatial arrangement of fibrils in concentrated aqueous sols of fibrillar pseudoboehmite *Materials chemistry and physics*, v.76, p.267-273, 2002.

SILVA, P. S. R. C. - *Polímeros*, 23, p.644, 2013.

THOMAS, S.P. Rheological and thermal studies of polystyrene calcium phosphate nanocomposites. *Polymers advanced technologies*, v.30, issue 2, p.381-389, 2019.

TOTTENHORST, R.D. e HOFFMANN, D.A. *Clays, Clay Miner.* 28, 373 (1980)

TSUKADA, T. et alii, *J. Mater. Chem.* 9, 549, 1999.

ZAPATA, P.; QUIJADA, R.; RETUERT, J.; MONCADA, E.; Preparation of Nanocomposites, by In Situ Polymerization. *Jornal of Chilean Chemical Society*. v. 53, n. 1, p. 1369- 1371, 2008

Peponi, L.; Tercjak, A.; Gutierrez J.; Cardinali M.; Mondragon I.; Valentini L.; Kenny J.M.; Mapping of carbon nanotubes in the polystyrene domains of a polystyrene-b-polysoprene-b-polystyrene block copolymer matrix using electrostatic force microscopy, *ScienceDirect ,carbon* 48, p. 2590 – 2595, 2010

Li W.; Tang X.; Zhang H.; Jiang Z.; Yu Z.; Du X.; Mai Y.; Simultaneous surface functionalization and reduction of graphene oxide with octadecylamine for electrically conductive polystyrene composites, *ScienceDirect ,carbon* 49, p. 4724 – 4730, 2011

Contatos: willbelino@gmail.com e antonio.munhoz@mackenzie.com