

EFEITO DO TIPO COMPATIBILIZANTE NA MORFOLOGIA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE NANOCOMPÓSITOS PP/ARGILA ORGANOFÍLICA¹ POLIPROPILENO/ARGILA ORGANOFÍLICA COMPATIBILIZADO

Débora Braga Gama²
Júlia Florencio Calado²
Cláudia Maria de Oliveira Raposo³
Suédina Maria de Lima Silva⁴
Daniela de Lourdes Anjos Coutinho Simões Andrade⁴

Resumo

Polipropileno modificado (PP-g-AM) contendo diferentes teores de anidrido maléico (AM), 0,2%, 0,5% e 1% em massa, foi empregado como compatibilizante na preparação de nanocompósitos polipropileno/argila organofílica pelo método de intercalação por fusão. O efeito do tipo de compatibilizante na morfologia e propriedades mecânicas dos sistemas foi investigado. O uso de PP-g-AM não resultou na boa dispersão da argila na matriz de PP conforme evidenciada pelos dados de difratometria de raios X. Por outro lado, as propriedades mecânicas foram modificadas quando polipropileno com diferentes teores anidrido maléico foi empregado.

Palavras-chave: Nanocompósitos; Argila organofílica; Compatibilizante.

EFFECT OF THE COMPATIBILIZER TYPE ON THE MORPHOLOGY AND MECHANICAL PROPERTIES OF PP/ORGANOCLAY NANOCOMPOSITES POLYPROPYLENE/ORGANOCLAY COMPATIBILIZED

Abstract

Modified polypropylene (PP-g-AM) with different levels of maleic anhydride (AM), 0.2%, 0.5% and 1% wt, was used as compatibilizer on preparation of polypropylene/organoclay nanocomposites by melt process. The effect of compatibilizer type on morphology and mechanical properties of the systems was investigated. The use of PP-g-AM resulted in good dispersion of clay in the PP matrix as evidenced by X ray diffraction. However the mechanical properties were modified when polypropylene with different levels of maleic anhydride was used.

Key words: Nanocomposites; Organoclay; Compatibilizer.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduanda, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.

³ Eng. Química. Doutora, Professora. Departamento de Mineração e Geologia, UFCG, Brasil.

⁴ Eng. Materiais. Doutora, Professora. Departamento de Engenharia de Materiais, UFCG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Nanocompósitos polímero/argila são materiais compósitos onde a fase dispersa (argila) se encontra em escala nanométrica. O resultado dessa mistura matriz orgânica/reforço inorgânico pode gerar materiais com excelentes propriedades em função do sinergismo entre as propriedades dos componentes individuais. Além disso, melhorias significativas nas propriedades de módulo, resistência mecânica e térmica, estabilidade dimensional, propriedades de barreira e propriedades ópticas, são alcançadas a baixos níveis de carregamento (menos de 5% em massa de argila) quando comparados aos polímeros puros e compósitos convencionais, por isso esses materiais têm sido extensivamente estudados⁽¹⁻¹⁰⁾.

Dentre as matrizes empregadas na preparação dos nanocompósitos está o polipropileno (PP), termoplástico do grupo das poliolefinas, que exibe uma atrativa combinação de baixo custo e grande versatilidade em termos de propriedades e aplicações nos mais diversos segmentos industriais⁽¹¹⁾.

Apesar dos muitos estudos sobre PP/argila organofílica divulgados na literatura⁽¹²⁻¹⁶⁾, a produção de nanocompósitos a partir deste polímero ainda é um desafio devido a sua baixa polaridade que dificulta a esfoliação e a dispersão homogênea das camadas de silicato, a nível nanométrico⁽¹⁷⁻²⁰⁾. O problema reside no fato desses silicatos apresentarem grupos hidroxilas polares e serem compatíveis apenas com polímeros contendo grupos funcionais polares, o que não corresponde ao PP. A incompatibilidade entre carga (silicato em camadas) e matriz (PP) torna necessário o emprego de um terceiro componente, a exemplo do polipropileno grafitizado com anidrido maléico (PP-g-MA), que tende a favorecer fortes interações entre a argila e as macromoléculas da matriz o que pode resultar em uma melhor dispersão da carga a nível nanométrico e conseqüentemente no aumento das propriedades mecânicas dos híbridos obtidos.

Esta abordagem tem sido bem desenvolvida para os sistemas baseados em polipropileno, no entanto, poucos estudos têm relatado como a proporção do PP-g-AM para argila organofílica afeta a morfologia e o respectivo desempenho dos nanocompósitos de Polipropileno⁽²¹⁻²⁶⁾. Visando contribuir na ampliação destes estudos, neste trabalho foi avaliado o efeito do tipo compatibilizante na morfologia e propriedades mecânicas de nanocompósitos PP/argila organofílica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Polipropileno (PP) HP525M (índice de fluidez de 8 g/10 min a 230°C/2,16 Kg - ASTM D 1238), produzido pela Quattor e fornecido pela Felinto Indústria e Comércio LTDA, na forma de *pellets*, foi empregado como matriz polimérica na preparação dos nanocompósitos. De acordo com o fabricante, este polímero é indicado para produção de filmes para uso em embalagens flexíveis de produtos alimentícios, têxteis etc⁽²⁶⁾.

Três tipos de compatibilizante comerciais PP-g-AM, com teores variados de anidrido maléico (AM), foram utilizados neste estudo. São estes: o Polybond®3002, o Polybond®3150 e o Polybond®3200, todos produzidos pela Crompton Corporation/USA e fornecidos pela Chemtura Indústria Química do Brasil. Na Tabela 1 estão apresentados algumas características desses materiais.

Tabela 1. Características dos compatibilizantes empregados neste estudo⁽²⁷⁾

Compatibilizante	Teor de Anidrido Maléico (% em massa)	Índice de Fluidez (g/10min a 230°/2,16 Kg)
Polybond®3002	0,2	7
Polybond®3150	0,5	50
Polybond®3200	1	115

A carga empregada neste estudo foi a argila sódica comercial Argel 35 com capacidade de troca de cátions (CTC) de 92 meq/100g, como determinado pelo método de Phelps e Harris, em 1968⁽²⁸⁾, fornecida pela Bentonit União Nordeste (BUN) – Campina Grande/PB (tamanho médio de partículas inferior a 0,074 mm). Essa argila foi purificada e em seguida modificada organicamente de acordo com procedimentos reportados previamente^(29,30). A argila organofílica foi codificada de APO.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparação dos nanocompósitos

Concentrados dos compatibilizantes PP-g-AM (3002, 3150 e 3200) e argila organofílica APO na proporção de 3:1, foram preparados em um misturador interno (Rheomix 600) do reômetro de torque Haake System 90, operando a 170°C e 60 rpm por 12 minutos. Os concentrados obtidos (Figura 1) codificados de 3200/APO, 3150/APO e 3002/APO, respectivamente, de acordo com o tipo de compatibilizante empregado. Em seguida os concentrados foram triturados, secos (80°C/24h) e diluídos no PP em extrusora dupla rosca contra rotativa do reômetro de torque Haake, em quantidades que resultaram em híbridos com teores de 1% em massa de argila (APO) e 15% em massa de PP-g-MA (3.002, 3.150 e 3.200). O perfil de temperatura utilizado foi de 200°C na 1ª zona e 230°C nas demais zonas, com velocidade das roscas de 60 rpm. As amostras extrusadas foram trituradas e alimentadas em extrusora Chill-Roll 16 da AX Plásticos, visando obter filmes planos de PP/PP-g-MA/APO operando com zonas de aquecimento estabelecidas num gradiente de 180 a 200°C, torque de 44 N/m e 70 rpm. Os filmes das matrizes puras e dos híbridos PP/PP-g-MA/APO foram codificados de PP/3002, PP/3150, PP/3200, PP/3002/APO, PP/3002/APO e PP/3002/APO, respectivamente.



Fonte: Própria

Figura 1. Concentrados de compatibilizante/argila organofílica triturados.

2.2.2 Caracterização dos Híbridos

2.2.2.1 Difração de raios X (DRX)

Os padrões de raios X das amostras foram obtidos em equipamento Shimadzu XDR 7000 a 40 kV e 30mA, com comprimento de onda $\lambda_{CuK\alpha} = 1,5418 \text{ \AA}$ e velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$. As amostras foram examinadas em um intervalo de 2θ entre 2 e 12° . Essa técnica é empregada para verificar a intercalação das cadeias poliméricas nas galerias da argila através da sua expansão interplanar basal e, portanto, investigar a morfologia dos nanocompósitos obtidos ^(4,31).

2.2.2.2 Propriedades mecânicas

O ensaio de resistência à tração dos filmes do PP puro e dos híbridos PP/PP-g-MA/APO foi conduzido em máquina universal de ensaios Emic - DL500, operando a uma velocidade de 50 mm/min segundo a norma ASTM D 882. Foram empregados corpos de prova com largura de 10 mm e espessura média de 5 μm . No ensaio de resistência à tração foi determinado o fator de ruptura (expresso em N/mm), relação entre a força máxima de tração por unidade de largura inicial do corpo de prova, parâmetro alternativo para caracterizar a resistência à tração de filmes cuja seção transversal não é homogênea, a exemplo dos materiais multicamadas, ou cuja espessura não pode ser determinada com a precisão necessária ⁽³²⁾.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Difração de Raios X (DRX)

A Figura 2 apresenta os padrões de raios X dos concentrados argila organofílica/compatibilizante. As amostras foram codificadas de acordo com o tipo de compatibilizante empregado em: 3002/APO, 3150/APO e 3200/APO.

Observa-se para os híbridos 3150/APO e 3200/APO a presença de picos alargados e de baixa intensidade em torno de 2 nm ($2\theta = 4^\circ$) correspondente possivelmente a reflexão basal (001) da argila APO. Esse decaimento da intensidade do pico principal das argilas em relação às amostras sugere uma desorganização das lamelas da argila presente nas amostras de nanocompósitos indicando a formação de nanocompósitos intercalados desordenados. Para o híbrido 3002/APO praticamente não se observa pico na faixa de 2θ estudado, indicando a possível obtenção de uma nanocompósitos predominantemente esfoliado devido a maior penetração das cadeias poliméricas entre as camadas da argila. Esses resultados sugerem uma boa interação desse compatibilizante com a argila organofílica indicando também que o tipo de compatibilizante afetou a morfologia dos híbridos obtidos o que pode resultar no melhoramento das propriedades mecânicas e de barreira dos filmes obtidos. Em estudos realizados por Park et. al. (2008)⁽²⁵⁾ empregando os mesmos compatibilizantes nanocompósitos PP/argila com melhor dispersão foram obtidos quando o agente Polybond 3150 foi adotado como um compatibilizante.

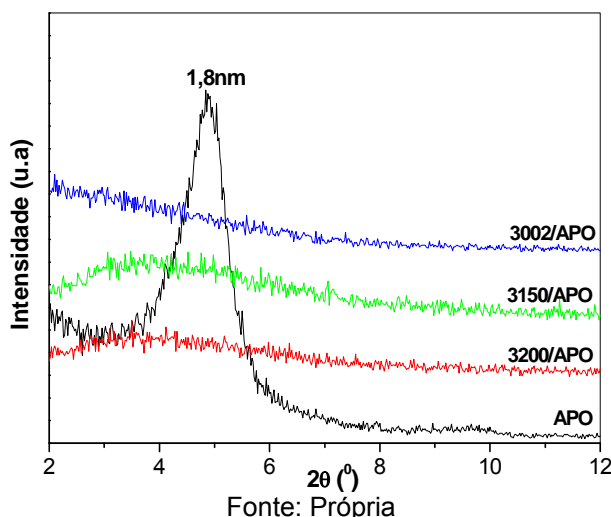


Figura 2. Difratogramas da argila APO e dos concentrados argila organofílica/compatibilizante: 3002/APO, 3200/APO e 3150/APO.
Fonte: Própria

Os padrões de difratometria de raios X dos filmes dos híbridos (PP/3150/APO, PP/3200/APO e PP/3002/APO) estão apresentados na Figura 3. Podemos observar o surgimento de picos em torno de 1,7 nm, valor próximo ao d_{001} apresentado pela argila APO (1,8 nm), após a diluição dos concentrados de PP-g-MA/APO na matriz polimérica. Acredita-se que este comportamento esteja associado à decomposição do sal orgânico utilizado na temperatura de processamento empregada (200°C), levando a um colapso da estrutura da argila^(33,34). Outra explicação é que as condições de processamento não tenham sido adequadas para promover uma adequada dispersão e esfoliação da argila. Nam et al(2001)⁽¹³⁾ e Garcia-López (2003)⁽¹⁸⁾ ressaltam a importância das condições de processamento na obtenção de nanocompósitos poliméricos. Condições inadequadas de processamento (tempos, temperaturas, cisalhamento, tipo de rosca) podem fazer com que as cargas não sejam adequadamente dispersas e que microcompósitos convencionais ou estruturas mistas sejam obtidas, o que parece ter ocorrido neste nos sistemas investigados.

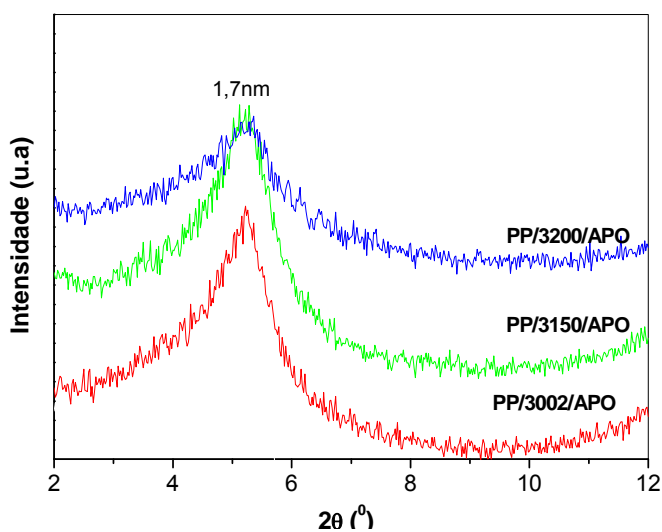


Figura 3. Difratogramas da argila APO e dos filmes dos híbridos: PP/3002/APO, PP/3200/APO e PP/3150/APO.

3.2 Propriedades Mecânicas

Na Figura 4 e Tabela 2 estão apresentados os resultados das propriedades tenséis (Fator de Ruptura e Alongamento na ruptura) das matrizes poliméricas (PP/3150, PP/3200 e PP/3002) e dos híbridos (PP/3150/APO, PP/3200/APO e PP/3002/APO), respectivamente. Observa-se que para os filmes dos híbridos PP/3002/APOA e PP/3150/APO os valores de fator de ruptura foram inferiores aos das matrizes poliméricas (PP/3002 e PP/3150) com a incorporação de 1% em massa da argila organofílica APO. Por outro lado, o alongamento na ruptura do híbrido PP/3002/APOA aumentou. Ao contrário do que se esperava, em função da morfologia dos híbridos (Figura 3), podemos observar aumentos nas propriedades mecânicas dos filmes dos nanocompósitos preparados com o compatibilizante Polybond 3200 (PP/3200/APO) quando comparados a matriz referência (PP/3200) e aos demais filmes empregando os compatibilizantes Polybond 3002 e 3150. De acordo com Araújo et. al.⁽³⁵⁾ os aumentos das propriedades mecânicas em filmes dos nanocompósitos, comparados aos dos filmes dos polímeros sem a presença de argila, podem estar associados às fortes interações polímero-argila que permitem a efetiva transferência das tensões da matriz para a carga e com a alta pureza da argila organofílica empregada que na ausência de impurezas micrométricas, que agem como concentradores de tensão, suportam maiores esforços mecânicos.

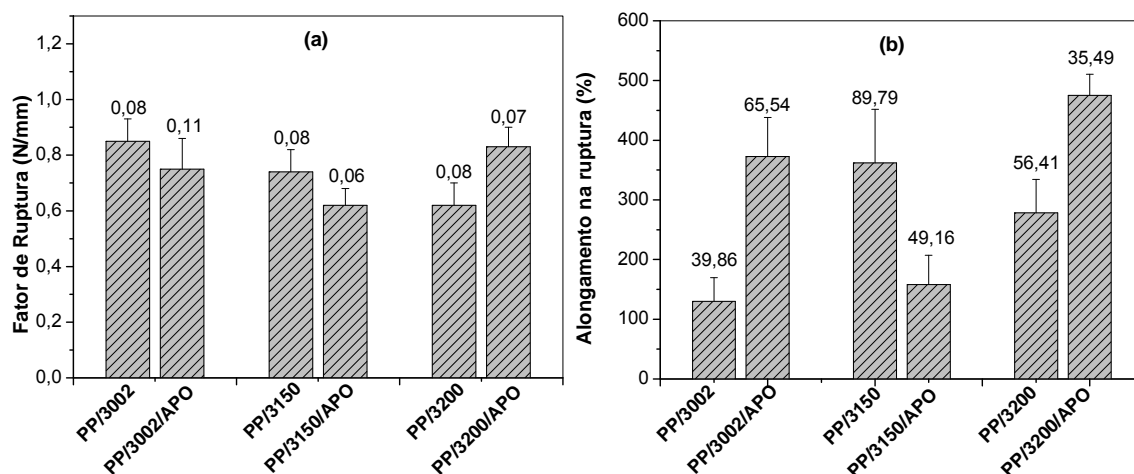


Figura 4. Fator de Ruptura (a) e Alongamento na ruptura (b) dos filmes compatibilizados com 15% de PP-g-MA e dos filmes híbridos contendo 1% da argila organofílica APO.

Tabela 2. Dados de tração das amostras dos filmes das matrizes poliméricas (PP/PP-g-MA) e dos híbridos (PP/PP-g-AM/argila organofílica)

Sistema	Fator de Ruptura (N/mm)	Alongamento na ruptura (%)
PP/3002	0,85 ± 0,08	129,99 ± 39,86
PP/3150	0,74 ± 0,08	362,00 ± 89,79
PP/3200	0,62 ± 0,08	278,18 ± 56,41
PP/3002/APO	0,75 ± 0,11	372,66 ± 65,54
PP/3150/APO	0,62 ± 0,06	158,12 ± 49,16
PP/3200/APO	0,83 ± 0,07	475,29 ± 35,49

Fonte: Valores obtidos a partir das curvas de propriedades mecânicas.

Como era de se esperar o tipo de compatibilizante e o teor de carga empregados (1% em massa de argila) não afetaram a transparência (Figura 5) dos filmes dos híbridos (PP/3150/APO, PP/3200/APO e PP/3002/APO) quando comparados as matrizes (PP/3150, PP/3200 e PP/3002).

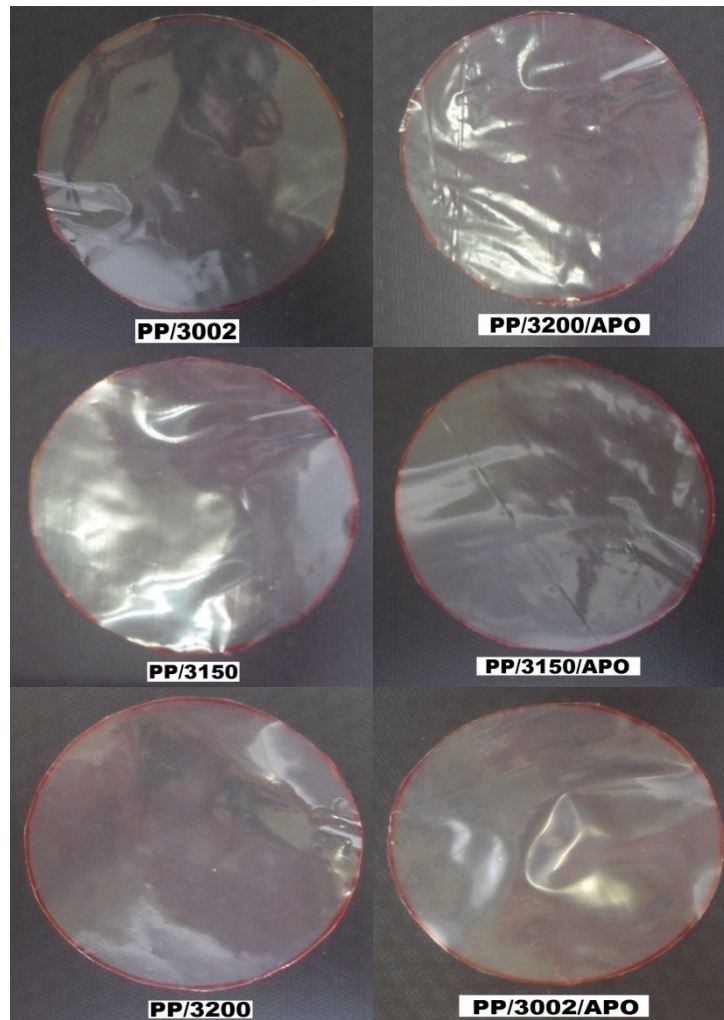


Figura 5. Fotografia dos filmes das matrizes PP/PP-g-MA e dos filmes dos híbridos contendo 1% da argila organofílica APO e 15% de compatibilizante.

4 CONCLUSÃO

A incorporação da argila organofílica APO às matrizes poliméricas não resultou na formação de nanocompósitos. A possível decomposição do surfactante utilizado no processo de modificação da argila APO bem como as condições de processamento empregadas podem ter contribuído para que tal fato ocorresse.

De maneira geral, os compatibilizantes empregados não conseguiram promover uma maior interação polímero/argila o que foi refletido nos baixos valores de propriedades mecânicas obtidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro, a Bentonit União Nordeste/Paraíba/Brasil pela doação da argila natural, a Felinto e a Chemtura pela doação do polipropileno e dos compatibilizantes, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- 1 VAIA R, GIANNELIS E. Polymer melt intercalation in organically- modified layered silicates: model predictions and experiment. *Macromolecules*, v. 30, p. 8000–8009, 1997.
- 2 GIANNELIS E. Polymer-layered silicate nanocomposites: synthesis, properties and applications. *Appl Organometal Chem*. V.12, p.675–680, 1998.
- 3 LIU X, WU Q. Polyamide 66/clay nanocomposites via melt intercalation. *Macromol Mater Eng*. V. 287, p.180–186, 2002.
- 4 RAY S, OKAMOTO M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Prog Polym Sci*. v. 28, p.1539–1641, 2003.
- 5 HASEGAWA N, USUKI A. Silicate layer exfoliation in polyolefin/ clay nanocomposites based on maleic anhydride modified polyolefins and organophilic clay. *J Appl Polym Sci*. v. 93, p. 464–470, 2004.
- 6 VERMOGEN A, MASENELLI-VARLOT K, SEGUELA R, DUCHET-RUMEAU J, BOUCARD S, PRELE P. Evaluation of the structure and dispersion in polymer-layered silicate nanocomposites. *Macromolecules*, v. 38, p.9661–9659, 2005.
- 7 MODESTI, M.; LORENZETTI, A.; BON, D.; BESCO, S. Thermal behaviour of compatibilised polypropylene nanocomposite: Effect of processing conditions. *Polymer Degradation and Stability*, v. 91, p. 672-680, 2006.
- 8 FEDULLO, N., SORLIER, E., SCLAVONS, M., BAILLY, C., LEFEBVRE, JM, DEVAUX, J. I. Polymer-based nanocomposites: Overview, applications and perspectives. P. in *Organic Coatings*, v. 58, p.87-95, 2007.
- 9 COLE, K. C. Use of infrared spectroscopy to characterize clay intercalation and exfoliation in polymer nanocomposites. *Macromolecules*, v. 41, n.3, p. 834 - 843; 2008.
- 10 GUTIÉRREZ, G.; FAYOLLE, F.; RÉGNIER, G.; MEDINA, J. Thermal oxidation of clay-nanoreinforced polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, v.95, p. 1708-1715, 2010.
- 11 MOURA, E. W.; GRAMOLELLI JÚNIOR, F. Incorporação De Biocida Em Polipropileno. *Revista Engenharia, Jundiaí, São Paulo*, v.1; 2009.
- 12 KATO M, USUKI A, OKADA A. Synthesis of polypropylene oligomer – clay intercalation compounds. *J Appl Polym Sci*, v. 66, p.1781–5, 1997.
- 13 NAM PH, MAITI P, OKAMOTO M, KOTAKA T, HASEGAWA N, USUKI A. A hierarchical structure and properties of intercalated polypropylene/clay nanocomposites. *Polymer*, v. 42, p.9633–9640, 2001.
- 14 WANG Y, CHEN F-B, WU K-C. Effect of molecular weight of maleated polypropylenes on the melt compounding of polypropylene/organoclay nanocomposites. *J Appl Polym Sci*. v. 97, p.1667– 1680, 2005.
- 15 KIM DH, FASULO PD, RODGERS WR, PAUL DR. Structure and properties of polypropylene-based nanocomposites: effect of PP-g-MA to organoclay ratio. *Polymer*, v.48, p.5308–5323, 2007.
- 16 CHRISOPOULOU K, ALTINTZI I, ANDRIANAKI I, SHEMESH R, RETSOS H, GIANNELIS EP, et al. Understanding and controlling the structure of polypropylene/layered silicate nanocomposites. *J Polym Sci Part B: Polym Phys* v. 46, p.2683–2695, 2008.
- 17 LEBARON, P. C, WANG, Z, PINNAVAIA, T. J. Polymer-layered silicate nanocomposites: an overview. *Applied Clay Science*; 15, p.11-29, 1999.

- 18 GARCÍA-LÓPEZ, D.; PICAZO, O.; MERINO, J. C.; PASTOR, J. M. Polypropylene-clay nanocomposites: effect of compatibilizing agents on clay dispersion. *European Polymer Journal*, v. 39, p. 945-950, 2003.
- 19 TIDJANI, A., WALD, O., POHL, M., HENTSCHEL, M. P., SCHARTEL, B., Polypropylene-graft-maleic anhydride-nanocomposites: I- Characterization and thermal stability of nanocomposites produced under nitrogen and in air. *Polymer Degradation and Stability*, v. 82, p. 133-140, 2003.
- 20 XU, W., LIANG, G., ZHAI, H., TANG, S., HANG, G., PAN, E., Preparation and crystallization behavior of PP/PP-g-MAH/Org-MMT nanocomposite. *European Polymer Journal*; v. 39, p.1467-1474, 2003. LERTWIMOLNUM, W., VERGES, B. Influence of compatibilizer and processing conditions on the dispersion of nanoclay in a polypropylene matrix, *Polymer*, v.46, p. 3462-3471, 2005.
- 21 LAI, S.-M.; CHEN, W.-C. & ZHU, X. S. Melt mixed compatibilized polypropylene/clay nanocomposites: Part 1 – the effect of compatibilizers on optical transmittance and mechanical properties. *Composites: Part A*, 40, p.754 -765, 2009.
- 22 LÓPEZ-QUINTANILLA, M. L.; SÁNCHEZ-VALDÉS, S.; RAMOS DE VALLE L. F. & MIRANDA, R G. Preparation and mechanical properties of PP/PP-g- MA/Org-MMT nanocomposites with different MA content *Polym. Bull.* v.57, p.385-393 2006.
- 23 LOPEZ-QUINTANILLA, M. L.; SÁNCHEZ-VALDÉS, S.; RAMOS DE VALLE, L. F. & MEDELLIN-RODRIGUEZ, F. J. Effect of Some Compatibilizing Agents on Clay Dispersion of Polypropylene-Clay Nanocomposites- *J. Appl. Polym. Sci.*, v.100, p. 4748-4756, 2005.
- 24 PARK, J. H.; LEE, H. M.; CHIN, IN-JOO, CHOI, H. J.; KIM, H. K.; KANG, W. G. Intercalated polypropylene/clay nanocomposite and its physical characteristics, ***Journal of Physics and Chemistry of Solids***, v. 69, p. 1375–1378, 2008.
- 25 PASCUAL J.; FAGES, E.; FENOLLAR; O. GARCÍA, D. BALART, R. Influence of the compatibilizer/nanoclay ratio on final properties of polypropylene matrix modified with montmorillonite-based organoclay. ***Polymer Bulletin***, 62, p.367, 2009.
- 26 Ficha Técnica do produto QUATTOR. Disponível em: <<http://www.quattor.com.br/quattorweb/pt/index.aspx>>. Acesso em: 6 jun. 2011.
- 27 Ficha Técnica do Produto Chemtura Indústria Química do Brasil. Disponível em: <<http://www.specialchem4polymers.com>>. Acesso em: 16 jun. 2011.
- 28 PHELPS G.W.; HARRIS AMER DL. Methylene blue surface area method to correlate with specific soil properties. *Ceram Soc Bull*, 47, p. 1146-50, 1968.
- 29 ARAÚJO, P. E. R.; ARAÚJO S.S., RAPOSO, C. M. O.; SILVA, S. M. L. Poly (ethylene tereftalate)(PET)/layered silicate nanocomposites. Effect of bentonite purification on morphology/behavior relationship. *The Polymer Processing Society 23rd Annual Meeting*, 2007.
- 30 ARAUJO, P.E.R.; FERREIRA, K.R.M.; CANEDO, E.L.; CARVALHO, L.H.; RAPOSO, C.M.O.; SILVA, S.M.L. Effect of Clay/Water Ratio During Bentonite Clay Organophilization on the Characteristics of the Organobentonites and Its Polypropylene Nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*. 2009.
- 31 UTRACKI, L. A. Clay-Containing Polymeric Nanocomposites. 1^a Ed. Rapra Technology Limited. United Kingdom. 2004. v. 1.
- 32 SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; OLIVEIRA, L.M.; PADULA, M.; COLTRO, L; ALVES, R.M.V.; GARCIA, E.E.C. Embalagens Plásticas Flexíveis: Principais polímeros e avaliação de propriedades. Campinas: Centro de Tecnologia de embalagem (CETEA) / Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), 2002. p.267.
- 33 LEITE, I. F.; SOARES, A. P. S.; CARVALHO, L. H.; MALTA, O. M. L.; RAPOSO, C. M. O.; Silva, S. M. L. Characterization of pristine and purified organobentonites *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.100, p. 563-569, 2010.
- 34 LEITE, I. F. Preparação de nanocompósitos de Poli (tereftalato de etileno)/bentonita. 2006, 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande.

- 35 ARAÚJO, A. R. A.; MESQUITA; W. B.; CANEDO, E. L.; RAPOSO, C. M. O; ANDRADE, D. L. A. C. S. CARVALHO, L. H.; SILVA, S. M. L. Desenvolvimento de filmes de nanocompósitos polipropileno/argila organofílica para embalagens. *Polímeros - Ciência e Tecnologia*, *in Press*.