

# Obtenção e caracterização de compósitos de polipropileno e muscovita ultrassônica

Fábio Rezende de Souza<sup>1</sup> 

Elaine Vidal Dias Gomes Libano<sup>1</sup> 

Silvia Cristina Alves França<sup>2</sup> 

Shirleny Fontes Santo<sup>2\*</sup> 

## Resumo

Neste trabalho foram preparados compósitos utilizando polipropileno (PP) como matriz e muscovita ultrassonicada como carga. O tratamento de ultrassonicação da muscovita promove delaminação do mineral o que contribui para aumento da adesão polímero/mineral. O mineral muscovita, que é um subtipo de mica, foi tratado ultrassonicamente por 60 e 120 minutos. As amostras PP/Mica foram processadas em extrusora monorosca, seguido de moagem e conformação em filmes planos. A caracterização dos compósitos quanto a densidade exibiu aumento da propriedade com aumento do tempo de tratamento ultrassônico da mica, o que sugere melhoria da interação com o polímero. O MEV dos compósitos revelou uma distribuição mais homogênea e maior alinhamento do mineral para as amostras tratadas ultrassonicamente. Os compósitos foram caracterizados ainda quanto ao impacto IZOD, FTIR e DRX. A análise geral dos resultados evidencia que os compósitos obtidos com muscovita ultrassonicada apresentaram discreta melhoria de propriedades.

**Palavras-chave:** Muscovita; Polipropileno; Compósitos; Ultrassonificação.

## Obtaining and characterizing polypropylene and ultrasonicated muscovite composites

### Abstract

In this work, composites were prepared using polypropylene (PP) as matrix and ultrasonicated muscovite as filler. The ultrasonication treatment of muscovite promotes delamination of the mineral, which contributes to increased polymer/mineral adhesion. The muscovite mineral, which is a subtype of mica, was ultrasonically treated for 60 and 120 minutes. The PP/Mica samples were processed in a single-screw extruder, followed by grinding and forming into flat films. The density characterization of the composites showed an increase in the property with an increase in the ultrasonic treatment time of the mica, which suggests an improvement in the interaction with the polymer. The SEM of the composites revealed a better distribution and greater alignment of the mineral for the ultrasonically treated samples. The compounds were further characterized in terms of IZOD impact, FTIR and XRD. The general analysis of the results shows that the composites obtained with ultrasonicated muscovite presented a slight improvement in properties.

**Keywords:** Muscovite; Polypropylene; Composites; Ultrasound treatment.

### 1 Introdução

Compósitos com base na interação entre polímeros e minerais têm sido alvo de muitas pesquisas científicas já que, além da significativa melhoria de propriedades em relação à matriz polimérica pura, representam alternativa sustentável ao uso dos polímeros pois com o uso da carga reduz-se a quantidade de polímero a ser usado e quando

se usam resíduos de mineração ainda há a contribuição de dar-se uma destinação mais adequada à esses materiais que de outra forma estariam poluindo o meio ambiente [1-3].

Dentre os polímeros estudados para formulação de compósitos destaca-se o polipropileno (PP), por ser um material de baixo custo e de fácil obtenção e processabilidade e que

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Materiais, DEPMAT, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia Mineral, CETEM, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

\*Autor correspondente: shirleny@uezo.edu.br



apresenta ainda boa reciclabilidade e reaproveitamento [4]. O PP possui grande aplicação industrial por apresentar boa resistência química, térmica e mecânica e sua aplicação se estende desde o uso em brinquedos e recipientes diversos (copos, alimentos, remédios, etc.) até autopeças, ferramentas manuais e construção civil. Os usos mais nobres somente são possíveis quando o PP é incorporado com cargas de reforço, ou seja, na forma de compósito [5,6]. Há diversos tipos de minerais que vêm sendo utilizados como cargas de reforço em polímeros, dentre eles podem se destacar as micas [2,7,8].

O termo mica na verdade engloba um conjunto de minerais de estrutura lamelar, compostos principalmente por silicatos hidratados de alumínio, potássio, sódio, ferro e outros. Os subtipos com maior número de aplicações industriais são muscovita, biotita e flogopita. As micas usualmente apresentam resistência a intempéries e boa resistência química e térmica, entre outras características. Especificamente a muscovita ( $KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH,F_2)$ ) apresenta também fácil clivagem no plano basal, plasticidade e brilho vítreo e é um mineral de particular interesse na área de desenvolvimento de compósitos devido ao relativamente baixo custo e abundância no Brasil, principalmente na região nordeste do país [2,7,8].

O uso de minerais e partícula inorgânicas diversas na estrutura de polímeros, usualmente, traz a questão da dificuldade de interação entre as fases fazendo com que frequentemente o uso de tratamentos químicos da matriz ou da carga seja necessário. Contudo no mundo atual que vem incentivando cada vez mais o uso de práticas sustentáveis é importante o uso de alternativas de tratamentos que agridam menos o meio ambiente. Nesse sentido, o uso de ultrassom para promover a separação das lamelas de minerais e com isso melhorar a interação com o polímero, mostra-se um método potencial e que exige pouco ou nenhum aditivo químico, sendo citado na literatura como método *eco-friendly* [3,9]. Os minerais lamelares, como as micas, apresentam entre suas lamelas cátions de compensação ( $K^+$ ,  $Na^+$ , etc) e hidroxilas (OH), os quais podem contribuir para melhorar a interação em sistemas polímero/mineral [3,10,11].

Takei et al. [9] traz em seu trabalho resultados desse tipo, ou seja, utilizou um tratamento ultrassônico a 28 kHz, considerado de baixa frequência, em meio aquoso com adição de dispersantes em minerais de sepiolita para obtenção de compósitos com a borracha NBR. O mineral utilizado tem estrutura fibrosa, de modo que o efeito ocasionado pela sonicação foi uma melhoria da dispersão que resultou, por exemplo, em aumento na resistência à tração de 3 para 8 MPa para os compósitos obtidos.

Outro exemplo deste tipo de estudo pode ser encontrado no trabalho de Bastos et al. [3], no qual analisou-se o efeito da ultrassonicação em muscovita (-125 $\mu$ m). O tratamento foi realizado em meio aquoso, sem adição de nenhum aditivo químico. Por meio das imagens de MEV e medidas do tamanho de partícula, os autores observaram a ocorrência de delaminação e diminuição do tamanho de partícula do mineral à proporção que o tempo de tratamento com ultrassom foi aumentado. Os compósitos obtidos exibiram, entre outros

resultados, um significativo aumento na resistência ao impacto e melhoria da dispersão da mica nos compósitos obtidos.

A melhoria da adesão foi associada a existência de mais pontos de interação, devido a delaminação, que expõe as regiões lamelares contendo cátions que podem promover aumento das forças fracas do tipo dipolo-dipolo e íon-dipolo.

Apesar de se mostrar um método eficaz e *eco-friendly*, a busca bibliográfica por estudos focando no uso de tratamentos ultrassônicos em minerais visando à melhoria da adesão com matrizes poliméricas se mostrou escassa. Particularmente para o sistema polipropileno/muscovita nenhum estudo científico foi encontrado até o momento.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção de compósitos entre polipropileno e mica muscovita ultrassonicação para melhoria da adesão do sistema.

## 2 Metodologia

### 2.1 Materiais

O PP utilizado foi cedido pela empresa Braskem, na forma de *pellets* de cerca de 0,5 cm de diâmetro.

O mineral muscovita (*in natura*) foi cedido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), e é originário da região Borborema-Seridó (RN/PB). A muscovita, com granulometria inferior a 125 $\mu$ m, passou por um tratamento ultrassônico em água destilada por 60 (Mica125US60) e 120 min (Mica125US120), utilizando um ultrassom (Ultraclean 1600) operando a 40 kHz e 500W, após tratamento de sonicação, as amostras foram secas em estufa (60 – 70°C) por 24h, e em seguida foram desaglomeradas utilizando almofariz e pistilo, conforme reportado nos trabalhos de Souza et al. [12] e Souza [13].

### 2.2 Processamento dos compósitos

Para obtenção dos compósitos foram utilizados o polipropileno (PP) e a mica muscovita com (Mica125US60 e Mica125US120) e sem tratamento ultrassônico (Mica125). A proporção de mica muscovita foi mantida constante a 15% [7]. A Tabela 1 exibe as 4 amostras utilizadas neste trabalho, com os nomes aplicados a elas e a proporção em porcentagem mássica (%m/m).

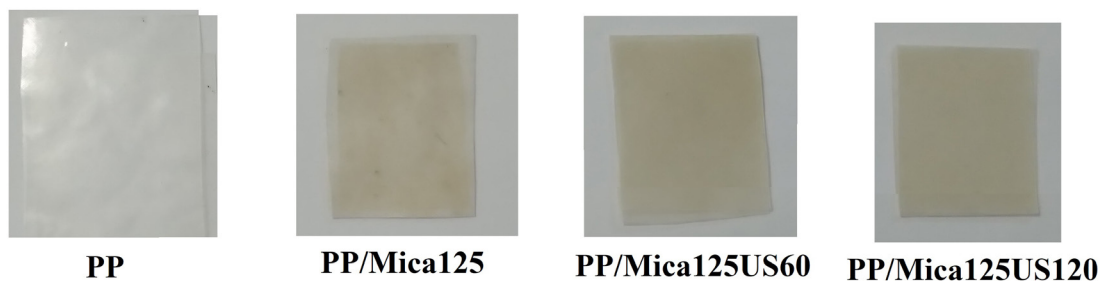
Neste trabalho, por simplificação, utilizou-se tanto no nome das amostras quanto em algumas discussões o termo “mica” referindo-se à muscovita.

O polipropileno e as amostras de muscovita foram previamente misturadas e introduzidas na extrusora monorosca CHILLROLL AX PLÁSTICOS. A velocidade utilizada foi de 37 rpm, passando por 03 zonas de temperatura: 140 °C (zona 1), 175 °C (zona 2) e 190 °C (zonas 3).

Ao fim da extrusão, os filmes foram cortados e cominuídos em moinho de facas. Em seguida, as amostras foram obtidas na forma de filme planos, como mostrado na Figura 1, por prensagem a quente a 190 °C e com uma pressão de 5 toneladas por 3 min.

**Tabela 1.** Proporções de cada componente dos compósitos produzidos

Amostras	Porcentagem	Massa de PP (g)	Massa de Mica (g)
	mássica (%m/m)		
PP	100	100	0
PP/Mica125	85/15	85	15
PP/Mica125US60	85/15	85	15
PP/Mica125US120	85/15	85	15



**Figura 1.** Fotos das amostras obtidas após extrusão e prensagem.

## 2.3 Caracterização dos materiais

### 2.3.1 Espectrometria de fluorescência de raios X

A composição química das amostras obtidas foi determinada por fluorescência de raios-X, num equipamento S4 Bruker, por método da pastilha prensada e varredura semiquantitativa.

### 2.3.2 Análise de tamanho de partícula

A distribuição de tamanho de partícula foi analisada por uma técnica de difração a laser em suspensões aquosas utilizando o equipamento Mastersizer 2000 da marca Malvern Instruments. Foram analisadas as amostras do mineral muscovita (granulometria -125µm) com e sem tratamento ultrassônico.

### 2.3.3 Ensaios de densidade, dureza e índice de fluidez (MFI)

Para medida de densidade utilizou-se o densímetro digital Gehaka DSL 910, segundo norma ASTM D792 (2020) [14]. O ensaio de Dureza foi realizado com o equipamento Durômetro Shore D Bareiss BS61 II, segundo a norma ASTM D2240 (2021) [15]. Através do plastômetro CEAST, modelo 7021, foi possível caracterizar o comportamento do fluxo das amostras, conforme a norma ASTM D1238 (2013) [16].

### 2.3.4 Ensaio de impacto IZOD

Os testes de impacto IZOD foram realizados utilizando a máquina de ensaio de impacto pendular Ceast model 9050, com martelo de impacto de capacidade 2.7J, segundo norma ASTM D256-10 (2018) [17].

### 2.3.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As superfícies de fratura, após ensaio de impacto, das amostras dos compósitos obtidos foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio modelo TM3030 Plus Hitachi, em amostras recobertas por fina camada de prata.

### 2.3.6 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Para caracterizar a estrutura química das amostras, foram realizadas análises de FTIR (FTIR - modelo Nicolet 6700 da Thermo Scientific) no modo ATR, utilizando cristal de ZnSe, na faixa de número de ondas de 600 - 4000 cm<sup>-1</sup>, com 32 varreduras por análise e resolução de 8 cm<sup>-1</sup>.

### 2.3.7 Difração de raios X (DRX)

As análises de difração de raios X foram realizadas em um difratômetro Bruker-AXS D8 Advance Eco diffractometer, utilizando radiação de Cu Kα (λ=1,54180 Å, 40 kV/25 mA) e ângulo 2θ angle variando de 4° a 70°.

## 3 Resultados e discussões

### 3.1 Caracterização da Muscovita

A análise da composição química da muscovita pura (sem tratamento ultrassônico), mostrada na Tabela 2, mostrou a presença dos componentes básicos do mineral (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>O) em proporções de acordo com dados encontrados na literatura [10]. Foi possível verificar ainda pequenos teores de óxidos de ferro, sódio, magnésio, titânio

e rubídio os quais são característicos dos pegmatitos da região Borborema-Seridó [10].

As amostras de muscovita com e sem tratamento ultrassônico foram caracterizadas também quanto ao tamanho de partícula, conforme apresentado na Tabela 3. Por meio desta análise foi possível obter os valores de D(0,1), D(0,5), D(0,9), os quais referem-se aos tamanhos de partícula abaixo do qual se situam 10, 50 e 90% das amostras respectivamente. Como pode ser visto na Tabela 3, os valores de D diminuem para amostra de mica muscovita tratada em ultrassom por 120 minutos.

Embora a amostra tratada por 60 min tenha exibido valores próximos aos da amostra sem tratamento outras análises realizadas nestas amostras, como o MEV [13], mostraram evidências de que com tempo de 60 min o mineral já apresenta a ocorrência de delaminação, que não necessariamente geram uma alteração significativa do tamanho do material [12,13].

As amostras de muscovita com e sem tratamento ultrassônico foram caracterizadas também por FTIR e DRX conforme reportado nos trabalhos de Souza et al. [12] e Souza [13]. No FTIR observou-se a diminuição da intensidade das bandas associadas às ligações Si-Al-O nas amostras ultrassonicadas. O DRX demonstrou a manutenção da estrutura cristalina do material mesmo após o tratamento. De acordo com os autores esses resultados sugerem que o tratamento ultrassônico conduziu a delaminação do mineral.

### 3.2 Caracterização dos compósitos

Os resultados das análises de densidade, dureza Shore D, índice de fluidez (MFI) e impacto IZOD do PP e dos compósitos PP/Mica obtidos estão resumidos na Tabela 4.

A literatura registra valores de densidade do PP variando de 0,85 a 0,92 g/cm<sup>3</sup> para a resina virgem dependendo da taxa de cristalização do polímero, levando-se em conta o desvio padrão pode-se observar que o PP utilizado neste trabalho apresentou valor desta propriedade de acordo com o esperado [18].

Os compósitos apresentaram valores de densidade próximos e ligeiramente maiores em relação ao polímero puro, o que pode ser atribuído à ocupação dos espaços livres da matriz polimérica pela carga, que é mais densa [19]. Não se verificou um aumento muito significativo nas amostras com mica porque a quantidade do mineral nos compósitos é constante, entretanto é possível observar um aumento mais significativo para a amostra com mica tratada em ultrassom por 120 min, como essa amostra exibiu diminuição de tamanho mais efetiva com presença de muitos finos, acredita-se que este fato contribuiu para um preenchimento de vazios mais eficiente [3].

Os dados de MFI encontrados para o PP enquadram-se em dados da literatura que indicam que esta propriedade apresenta valores por volta de 3,0 – 4,0 g/10 min [18,20]. Contudo, a amostra PP/Mica125US60 apresentou um

**Tabela 2.** Composição química da amostra de muscovita

Substâncias	Teor (%)	Substâncias	Teor (%)
SiO <sub>2</sub>	46,37	Na <sub>2</sub> O	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38,35	MgO	0,25
K <sub>2</sub> O	11,67	TiO <sub>2</sub>	0,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,88	Rb <sub>2</sub> O	0,22

**Tabela 3.** Tamanho de partícula da muscovita antes e após tratamento ultrassônico

Amostras	Tamanho de partícula (µm)		
	D (0.1)	D (0.5)	D (0.9)
Mica125	19,96	104,44	212,77
Mica125US60	21,00	105,83	209,51
Mica125US120	17,80	65,03	143,45

**Tabela 4.** Resultados de densidade, dureza, MFI e impacto dos compósitos

Amostras	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza (Shore D)	MFI (g/10min)	Impacto (kJ/m <sup>2</sup> )
PP	0,8914 ± 0,0175	58,2 ± 3,7	3,694 ± 0,0488	3,614 ± 0,563
PP/Mica	0,8998 ± 0,0180	59,6 ± 2,0	3,976 ± 0,0488	4,434 ± 2,771
PP/MicaUS60	0,8936 ± 0,0243	59,0 ± 3,3	6,366 ± 0,0553	3,061 ± 0,010
PP/MicaUS120	0,9354 ± 0,0192	59,8 ± 1,9	3,364 ± 0,0173	3,525 ± 0,779

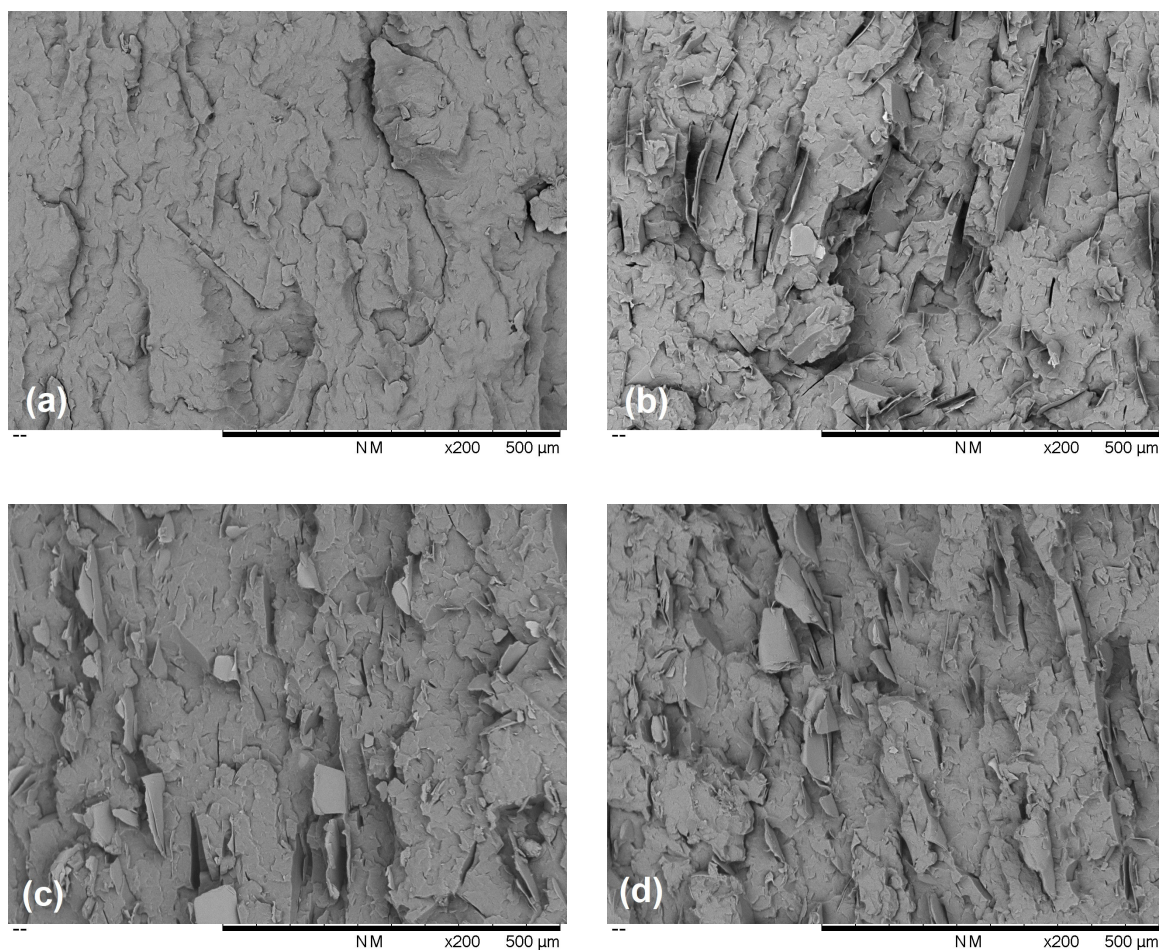
valor bem maior quando comparado às demais amostras de compósitos. Gerardo et al. [2] observou efeito semelhante (alto valores de MFI) para compósitos de muscovita com madeira plástica e sugeriu que esse comportamento é devido ao alinhamento das partículas lamelares da mica muscovita que ao invés de dificultar, facilita o movimento das cadeias no estado fundido.

Neste estudo o alinhamento das partículas de mica também foi observado e particularmente para a amostra de mica tratada em ultrassom por 60 min (Mica125US60), conforme reportado por Souza et al. [12], os autores também observaram que esta apresentou mais evidências de delaminação do que de diminuição de tamanho o que corrobora o resultado observado já que com mais lamelas maior a quantidade de “alternativas” para deslizamentos das cadeias poliméricas [3].

Os valores de dureza Shore D das amostras também estão de acordo com dados encontrados na literatura e apresentaram diferenças pouco significativa entre as amostras. Um valor ligeiramente maior pode ser observado para amostras PP/Mica125US120 que pode estar associado a um possível aumento dos números de sítios de interação polímero/matriz pela presença de partículas menores e delaminadas nessa amostra [3,12,18].

Na Tabela 4 são mostrados ainda os resultados do ensaio de impacto. Os valores obtidos tanto para o PP puro quanto para os compósitos encontram paralelos na literatura. A resistência ao impacto está muito relacionada à cristalinidade do material, de forma que geralmente quanto maior a cristalinidade maior a rigidez e menor absorção de energia durante o impacto [6]. Para as amostras de compósitos obtidas neste trabalho, observa-se um ligeiro aumento da energia de impacto com introdução da muscovita, indicando aumento da ductilidade e diminuição da propriedade com a introdução das muscovitas tratadas ultrassonicamente, indicando tendência ao enrijecimento do material o que poderia ser explicado pelo fato dessas amostras apresentarem uma distribuição de partículas contendo mais finos [12], quando comparado à mica sem tratamento, os quais podem atuar como grãos nucleantes da cristalização do polímero. Além disso, a própria delaminação favorece a ocorrência de mais pontos de interação polímero/carga que pode estar contribuindo para aumento da ação reforçante da carga tratada por ultrassom, conforme sugerido também pelo resultado de densidade [3,12,18].

A Figura 2 exibe as imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) da superfície de fratura, após ensaio de



**Figura 2.** MEV das amostras: (a) PP, (b) PP/Mica125, (c) PP/Mica125US60 e (d) PP/Mica125US120.

impacto, do polipropileno puro e dos compósitos com mica sem tratamento e tratada ultrassonicamente.

Na Figura 2(a) é possível visualizar o polipropileno puro. Nas Figuras 2(b), 2(c) e 2(d) estão as imagens dos três compósitos obtidos, nas quais pode ser observado de forma inequívoca a presença da fase muscovita, com presença de significativa quantidade do mineral em todas as amostras, ou seja, não houve ejeção de grande quantidade de material após a quebra por impacto, o que indica boa adesão entre o polímero e a carga [7,21,22].

Para as amostras com muscovita tratada ultrassonicamente é possível verificar uma melhor distribuição da carga na matriz, que exibe aparência mais homogênea, sem formação de aglomerados de mica. O mineral micáceo, assim como outros de estrutura lamelar, devido sua alta razão de aspecto tende a interagir com a matriz preferencialmente na sua superfície basal [22], onde existem também os cátions de compensação e hidroxilas que promovem interações com a matriz polimérica apolar, com aumento do número destas superfícies pelo tratamento de ultrassom esta orientação da matriz tornou-se mais eficiente, melhorando o alinhamento, a distribuição do material e conseqüentemente a interação polímero/carga [3].

Os resultados de FTIR para o PP e os compósitos PP/Mica estão expostos na Figura 3.

No espectro do polipropileno puro podem ser observados os picos e bandas de absorção típicos para o polímero. Os picos de absorção em 840, 1000 e 1170  $\text{cm}^{-1}$  são vibrações características de grupos  $\text{CH}_2$  insaturados presentes nos terminais do PP isotático. A banda ampla e intensa em torno de 2915  $\text{cm}^{-1}$  está relacionada as vibrações da ligação C-H e picos de vibrações de deformação do grupo metileno surgem na faixa espectral de 1445 a 1485  $\text{cm}^{-1}$  [23].

As amostras de compósitos exibiram perfil de absorvância muito similar à do PP puro, a presença da muscovita, no entanto, pode ser notada pelo pico de absorção na região de 3750-3550  $\text{cm}^{-1}$  que corresponde as vibrações de estiramento das hidroxilas (OH) presentes na estrutura da mica muscovita [24]. Não foi possível observar diferenças significativas entre os perfis do PP com mica e do PP com mica tratada ultrassonicamente, de onde se pode inferir que a interação PP/Mica é de natureza física, como observado também por Gerardo et al [2] e Bastos et al [3] para sistemas similares, e que a natureza da interação não foi alterada pelo tratamento realizado com a mica.

A Figura 4 apresenta os difratogramas de raios X para as amostras de PP, os compósitos PP/Mica e para facilitar a discussão dos resultados foi incluído o perfil da mica muscovita pura. A curva para o polipropileno puro mostra perfil típico da estrutura polimórfica  $\alpha$ , que é a fase mais comum do cristalito da fase cristalina do PP [25]. A curva para o polipropileno puro mostra perfil típico da estrutura polimórfica  $\alpha$ , que é a fase mais comum do cristalito da fase cristalina do PP [25]. O perfil da muscovita é típico da fase micácea com picos agudos e baixo nível de ruído indicando elevada cristalinidade do material, os picos a cerca de 8°, 18°, 28° e 47°  $2\theta$  apresentam como índices de miller (002), (004), (024) e (029), respectivamente [10].

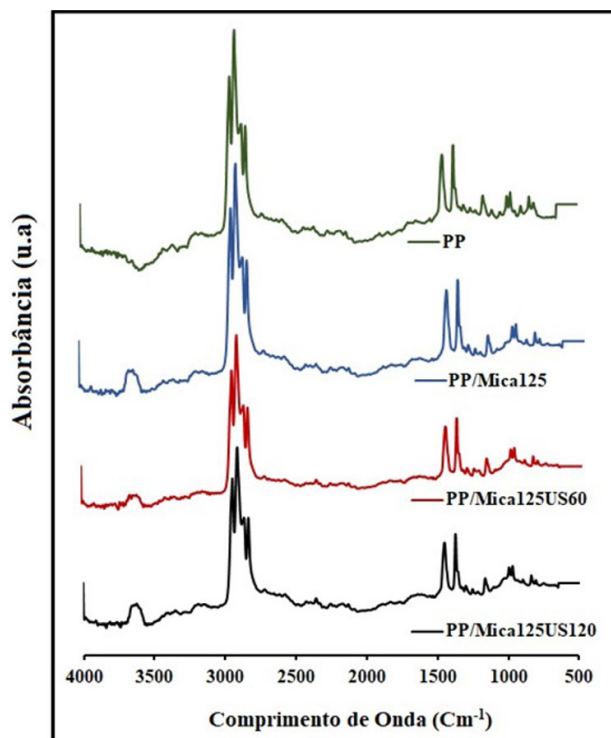


Figura 3. FTIR do PP puro e dos compósitos PP/Mica125.

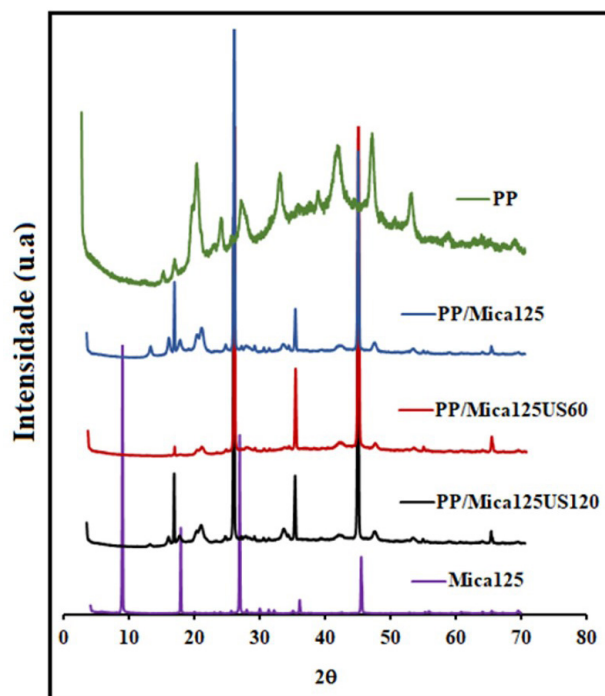


Figura 4. Difratogramas de raios X do PP puro e dos compósitos PP/Mica125.

Os difratogramas de todos os compósitos exibiram perfis muito semelhantes, Figura 4, nos quais se pode perceber alguns picos do PP puro e alguns picos da fase micácea. Este resultado sugere que a mica não alterou a estrutura semicristalina

original da matriz polimérica [20]. Porém, é possível observar que a interação do mineral com o polímero fez com que os picos a cerca de  $28^\circ$ ,  $37^\circ$  e  $47^\circ$   $2\theta$  fossem favorecidos em detrimento dos demais picos da muscovita pura e promoveu ainda o aparecimento do pico a cerca de  $66^\circ$   $2\theta$  que também é típico da muscovita mas é difícil de ser visualizado por ser de baixa intensidade [26], fenômeno similar foi observado também por Gerardo et al. [2] e Bastos et al. [3] para o sistema madeira plástica/muscovita e associado ao alinhamento dos grãos de muscovita dentro da estrutura do polímero.

Outro fenômeno digno de nota na Figura 4 é o deslocamento da posição dos picos a cerca de  $28^\circ$ ,  $37^\circ$  e  $47^\circ$   $2\theta$  nos compósitos, independente do tratamento ultrassônico da muscovita, em relação a posição desses picos no perfil da muscovita. Analisando o pico mais intenso a cerca de  $28^\circ$  e fazendo os cálculos segundo a lei de Bragg ( $n\lambda=2d\sin\theta$ ) verifica-se para a muscovita pura um valor de  $d=3,32\text{\AA}$  e para os compósitos um valor de  $d=3,40\text{\AA}$ . A literatura registra fato semelhante para minerais de estrutura lamelar que sofreram processos de intercalação em sua estrutura, o que provoca um aumento da distância interplanar e consequentemente deslocamento do pico [25]. Nas circunstâncias deste trabalho é possível sugerir que a interação do PP com a muscovita esteja promovendo algum grau de intercalação das cadeias poliméricas entre as lamelas do mineral.

Quanto às amostras com mica tratada ultrassonicamente, uma visualização mais atenta dos perfis de DRX permitir

perceber para a amostra PP/Mica125US60 uma menor intensidade dos picos do polímero, o que sugere uma maior amorfização da fase polimérica deste compósito e corrobora os resultados já apresentados.

#### 4 Conclusões

Amostras de muscovita ultrassonicadas foram processadas com o polímero polipropileno obtendo-se três compósitos, um com mica sem tratamento e dois com as micas ultrassonicadas por 60 e 120 minutos.

Os compósitos obtidos exibiram ligeiro aumento da densidade em relação ao polímero PP sugerindo boa ocupação dos espaços vazios da matriz polimérica pela mica. Os valores de dureza, MFI e resistência ao impacto apresentaram pouca alteração em comparação com o comportamento da matriz polimérica pura.

O MEV dos compósitos permitiu observar uma distribuição mais homogênea e maior alinhamento das micas nas amostras ultrassonicadas com pouco pontos indicativos de ejeção do mineral da matriz. O DRX exibiu perfis que reforçam a questão do alinhamento das partículas de mica nos compósitos pois exibiu picos preferenciais e um fenômeno incomum dos deslocamentos dos ângulos desses mesmos picos em relação à muscovita pura o que sugere intercalação da mica pelas cadeias poliméricas.

#### Referências

- 1 Rajak KD, Pagar DD, Kuma RR, Pruncu CI. Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019;8:6354-6374. <http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>.
- 2 Gerardo CF, França SCA, Santos SF, Bastos DC. A study of recycled high-density polyethylene with mica addition: influence of mica particle size on wetting behavior, morphological, physical, and chemical properties. *International Journal of Developmental Research*. 2020;10:37223-37228. <http://doi.org/10.37118/ijdr.19110.06.2020>.
- 3 Bastos BC, Dias ACS, França SCA, Bastos DC, Santos SF. Composites based on post-industrial wood plastic waste and ultrasonic treated muscovite. *Materials Research*. 2023;26(suppl. 1):e20220568. <http://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2022-0568>.
- 4 Isfahani RB, Barbaz-Isfahani R, Khalvandi A, Tran TMN, Kamarian S. Synergistic effects of egg shell powder and halloysite clay nanotubes on the thermal and mechanical properties of abacá/polypropylene composites. *Industrial Crops and Products*. 2023;205:117498. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117498>.
- 5 Liu Z, Xing S, Li Y, Sun J, Li H, Gu X, et al. Surface modification of zinc oxide and its application in polypropylene with excellent fire performance and ultra-violet resistance. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2024;661:307-316. <http://doi.org/10.1016/j.jcis.2024.01.134>.
- 6 Lixandrão KCL, Ferreira FF. Polypropylene and tire powder composite for use in automotive industry. *Helion*. 2019;5:e02405. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02405>.
- 7 Almeida PO, Gerardo CF, Leão AG, França SCA, Santos SF, Bastos DC. Sustainable composites based on recycled high-density polyethylene/mica. *Materials Research*. 2021;21:e20200418. <http://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2020-0418>.
- 8 Gabryelczyk A, Swiderska-Moczek A, Czarnańska-Komorowska D. Muscovite as an inert filler for highly conductive and durable gel polymer electrolyte in sodium-ion batteries. *Journal of Power Sources*. 2022;552:23225930. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232259>.

- 9 Takei T, Oda R, Miura A, Kumada N, Kinomura N, Ohki R, et al. Effect of dispersion of sepiolite in sepiolite-NBR composite on the tensile strength. *Composites. Part B, Engineering*. 2013;44:260-265. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.05.034>.
- 10 Santos SF, França SCA, Ogasawara T. Method for grinding and delaminating muscovite. *Mining Science and Technology*. 2011;21:7-10. <http://doi.org/10.1016/j.mstc.2010.05.001>.
- 11 Novikova L, Ayrault P, Fontaine C, Chatel G, Jérôme F, Belchinskaya L. Effect of low frequency ultrasound on the surface properties of natural aluminosilicates. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016;31:598-609. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.02.014>.
- 12 Souza FR, Fernandes RN, Libano EVDG, França SCA, Santos SF. Efeito do tratamento ultrassônico em mica muscovita. *Revista Contemporânea*. 2024;4:1-15. <http://doi.org/10.56083/RCV4N5-128>.
- 13 Souza FR. *Compósitos obtidos a partir de polipropileno e muscovita ultrassonicada [dissertação]*. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro; 2024.
- 14 American Society For Testing Materials. ASTM D792: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement: West Conshohocken, PA: ASTM; 2020.
- 15 American Society For Testing Materials. ASTM D2240: Standard Test Methods for Rubber Property—Durometer Hardness. West Conshohocken, PA: ASTM; 2021.
- 16 American Society For Testing Materials. ASTM D1238- 13: Standard Test Methods for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion plastometer. West Conshohocken, PA: ASTM; 2013.
- 17 American Society For Testing Materials. ASTM D256- 10: Standard Test Methods for determining the Izod pendulum impact resistance of plastics. West Conshohocken, PA: ASTM; 2018.
- 18 Barros GS, Silva GO, Faria AD, Gerardo CF, Santos MCC, Libano EVDG, et al. Influência do tipo de compatibilizante nas propriedades de blendas de matrizes poliméricas recicláveis. *Revista Contemporânea*. 2023;3:15237-15250. <http://doi.org/10.56083/RCV3N9-094>.
- 19 Baggio A, Cruz MPM, Gonçalves GMB, Sanchez LEA. Obtenção de compósitos de baixa densidade e sua caracterização a partir do processo de laminação manual Hand Lay-Up com matriz poliéster insaturada reforçada com fibra de vidro. *Revista Matéria*. 2022;27:e202148547. DOI: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2021-48547>.
- 20 Monsores KGC, França SCA, Moraes LS, Santos SF. Materiais Compósitos a base de PP e muscovita. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. 2017;18:301-309.
- 21 Du P, Chen GX, Song S, Wu J, Gu K, Dachuan Z, et al. Effect of thermal activation on the tribological behaviors of muscovite particles as lubricant additives in lithium grease. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2018;70:538-543. <http://doi.org/10.1108/ILT-11-2016-0288>.
- 22 Lapčík L, Mañas D, Lapčíková B, Vašina M, Staněk M, Čépe K, et al. Effect of filler particle shape on plastic-elastic mechanical behavior of high density poly(ethylene)/mica and poly(ethylene)/wollastonite composites. *Composites. Part B, Engineering*. 2018;141:92-99. <http://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.035>.
- 23 Machado ABF, Lima AM, Bastos DC, Pereira PSC, Libano EVDG. Avaliação estrutural e térmica de compósitos de polímero pós-consumo e argila nacional. *Brazilian Journal of Development*. 2021;7:13935-13953. <http://doi.org/10.34117/bjdv7n2-151>.
- 24 Brown NMD, Liu ZH. An investigation using atomic force microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy of the modification of the surface of mica with an argon RF-plasma discharge. *Applied Surface Science*. 1995;90:155-164. [http://doi.org/10.1016/0169-4332\(95\)00074-7](http://doi.org/10.1016/0169-4332(95)00074-7).
- 25 Libano EVDG, Visconte LLY, Pacheco ÉBAV. Propriedades térmicas de compósitos de polipropileno e bentonita organofílica. *Polímeros*. 2012;22:430-435. <http://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000063>.
- 26 Qiu F, Wang M, Hao Y, Guo S. The effect of talc orientation and transcrystallization on mechanical properties and thermal stability of the polypropylene/talc composites. *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing*. 2014;58:7-15. <http://doi.org/10.1016/j.compositesa.2013.11.011>.

Recebido em: 08 Jul. 2024

Aceito em: 12 Fev. 2025

Editor responsável:

Sabrina Arcaro 