



# Blendas de pead: efeito da concentração de PEAD reciclado e do compatibilizante PEAD-g-ma

Raquel Gonçalves Costa Machado<sup>1</sup>, Lys Sirelli<sup>2</sup>, Elaine Vidal Dias Gomes Libano<sup>1</sup>, Patricia Soares da Costa Pereira<sup>1</sup>

## AUTHOR AFILIATIONS

1 – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

2 – Universidade Federal do Rio de Janeiro

## CONTACT

elainevdg@yahoo.com.br

## ABSTRACT

The wide application of high-density polyethylene (HDPE), especially in the packaging sector, gives the HDPE place among plastic more produced and consumed in the world market. Due to the large disposal and waste generation HDPE, the importance of recycling increases. The use of blends of HDPE recycled with virgin HDPE is an output for the reduction of discharge to the environment. Polymer blends generally are immiscible due to low entropy of mixing, and incompatible, due to the absence of intermolecular interactions between the phases. Due to this incompatibility, it is necessary to incorporate a coupling agent to enhance the interactions between the phases. The presence of the compatibiliser is acting as a function at the interface between the blend components and becomes the best action to reduce stress and increase interfacial adhesion between the layers, enhancing the dispersion of polymers. In the present work, was prepared blends of virgin HDPE (PEADv) with recycled HDPE (PEADr) (from plastic bags) in twin-screw extruder with 60 rpm processing speed. The incorporation of PEADr were 25, 50 and 75% by weight. To study the effect of the compatibility agent was added to the blend with 50% PEADr, 6% high-density polyethylene grafted with maleic anhydride (MA-g-HDPE). The samples were evaluated by density tests, MFI melt flow index, Shore D hardness, Thermogravimetry, Differential Scanning Calorimetry and Scanning Electron Microscopy. The effect of the variation of HDPE concentration in the studied blends was not significant in the evaluated physical-mechanical properties. The blends showed a reduction in the thermal stability of the materials and a tendency to decrease the roughness as the HDPE content increased. The results showed that the compatibilizer played an important role in the compatibility of the evaluated blend.

Keywords: compatibility agent, HDPE-g-MA, polymer blends, recycled HDPE.

## RESUMO

A vasta aplicação do polietileno de alta densidade (PEAD), principalmente no setor de embalagens, confere ao PEAD o lugar entre os plásticos mais produzidos e consumidos no mercado mundial. Devido ao grande descarte e geração de resíduos de PEAD, a importância da reciclagem cresce. A utilização do PEAD reciclado em blendas com o PEAD virgem é uma saída para a diminuição do

descarte no meio ambiente. Blendas poliméricas, geralmente, são imiscíveis, devido à baixa entropia de mistura, e incompatíveis, devido à ausência de interações intermoleculares entre as fases. Em decorrência dessa incompatibilidade, é necessário incorporar um agente compatibilizante para melhorar as interações entre as fases. A presença do compatibilizante tem como função agir na interface entre os componentes das blendas e se torna a melhor ação para reduzir a tensão e aumentar a adesão interfacial entre as fases, melhorando a dispersão dos polímeros. No presente trabalho foram preparadas blendas de PEAD virgem (PEADv) com PEAD reciclado (PEADr) (provenientes de sacolas plásticas) em extrusora dupla-rosca com velocidade de processamento de 60rpm. A incorporação do PEADr foram de 25, 50 e 75%, em massa. Para o estudo do efeito do agente compatibilizante, foi adicionado à blenda com 50% de PEADr, 6% de polietileno de alta densidade enxertado com anidrido maleico (PEAD-g-MA). As amostras foram avaliadas pelos ensaios de densidade, índice de fluidez MFI, dureza Shore D, Termogravimetria, Calorimetria Exploratória Diferencial e Microscopia Eletrônica de Varredura. O efeito da variação da concentração de PEADr nas blendas estudadas foi pouco significativa nas propriedades físico-mecânica avaliadas. As blendas apresentaram uma redução na estabilidade térmica dos materiais e uma tendência de diminuição da rugosidade conforme o aumento do teor de PEADr. Os resultados mostraram que o compatibilizante desempenhou um papel importante na compatibilização da blenda avaliada.

Palavras-chave: agente compatibilizante, blendas poliméricas, PEAD reciclado, PEAD-g-MA.

## INTRODUÇÃO

Os plásticos têm fundamental importância na sociedade moderna, onde são utilizados de inúmeras formas, inclusive em algumas aplicações para as quais anteriormente eram utilizados outros materiais como metais, vidros, madeira e papel. Possuem, dessa forma, um grande mercado que está em expansão. Entretanto, estes materiais têm despertado grande preocupação devido ao seu tempo de vida útil ser muito curto, como por exemplo, na aplicação em embalagens, e à sua grande dificuldade de

degradação no meio ambiente (Costa *et al.*, 2014; Zander *et al.*, 2018).

Muitas soluções têm sido propostas para gerenciar o problema de deposição do lixo polimérico, tais como: reciclagem, incineração, descarte em aterros e utilização de plásticos degradáveis. Entretanto, alguns dos processos acima têm algumas desvantagens, como a baixa qualidade da maioria dos produtos reciclados devido à heterogeneidade da matéria prima, ou a emissão de vapores tóxicos provenientes da incineração (Singh *et al.* 2017; Faraca & Astrup, 2019)

As crescentes aplicações do polietileno de alta densidade (PEAD), principalmente no setor de embalagens de rápido descarte, vêm tornando-o um dos plásticos mais consumidos no mercado mundial. A falta de gerenciamento adequado para os resíduos urbanos pode resultar em descartes impróprios, e tem contribuído para entupimentos da rede de esgoto e para a formação de enchentes, propiciando a proliferação de vetores e gerando graves problemas ambientais, como por exemplo, poluição de rios e nascentes e mesmo em aterros sanitários, o chorume que se forma causa a contaminação de aquíferos e lençóis freáticos. Aliado a isto, a baixíssima degradabilidade dos mesmos e o seu elevado volume fazem com que os rejeitos plásticos ocupem vastos espaços por tempo muito longo, diminuindo o tempo de vida útil dos aterros sanitários (Costa *et al.*, 2016; Jassim, 2017; Zhang & Zhang, 2018).

A reciclagem de materiais é uma atividade de extrema importância em termos ambientais, sociais e econômicos, pois contribui para a geração de emprego e de renda e a preservação de fontes esgotáveis de matéria-prima, além de reduzir gastos com a disposição final dos resíduos

e com limpeza e saúde pública (Alzerreca, *et. al.*, 2015; Costa *et al.*, 2016; Martins *et al.*, 2019; Ragaert *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a inserção dos materiais reciclados na matriz virgem é mais economicamente viável em relação a criação de novos polímeros. A criação de novas blendas passou a ganhar mais força com a necessidade mundial de reciclar ao máximo as sobras de produção, tanto para reduzir a geração de meios poluidores como para diminuir os custos de produção que são fatores decisivos na implementação de projetos. A maior dificuldade da utilização de blendas é devido a imiscibilidade e incompatibilidade das mesmas. Devido a essa limitação, é crescente o estudo da incorporação de agentes compatibilizantes para melhorar as interações moleculares (Li *et al.*, 2018; Luna *et al.*, 2015; Nascimento *et al.*, 2013; Raheem *et al.*, 2019; Tóth *et al.*, 2015; Wang, *et al.*, 2019).

Este trabalho tem como objetivo analisar as propriedades estruturais, térmicas e morfológicas de blendas poliméricas de PEAD virgem e PEAD reciclado, provenientes de sacolas plásticas, e avaliar a influência da presença do PEAD

enxertado com anidrido maleico como agente compatibilizante nas blendas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Na preparação das blendas foi empregado um polietileno de alta densidade virgem fornecido pela empresa BRASKEM e um polietileno de alta densidade reciclado fornecido pela empresa Peterlu. O polietileno funcionalizado (PEAD enxertado com anidrido maleico) fornecido pela Polybond, sob o nome comercial de Polybond 3009, com 1,0% de anidrido maleico (nominal) e índice de fluidez de 4g/10min (ASTM D1238, 190 °C/2,16Kg), foi utilizado como agente compatibilizante.

### *Separação dos materiais*

Os materiais recebidos em pellets foram separados nas seguintes proporções abaixo e nomeados conforme mostrado na Tabela 1.

### *Processamento das blendas por extrusão*

As blendas foram preparadas por mistura mecânica. Os materiais separados foram processados em extrusora dupla-rosca co-

rotatória com 10 zonas de temperaturas (mais a zona do cabeçote), compreendidas entre 70 e

Tabela 1. Proporções e nomenclatura das blendas.

	PEAD virgem (%)	PEAD reciclado (%)	PEAD- g-MA (%)
<b>PEADv</b>	100	-	-
<b>PEADv/ PEADr 75/25</b>	75	25	-
<b>PEADv/ PEADr 50/50</b>	50	50	-
<b>PEADv/ PEADr 25/75</b>	25	75	-
<b>PEADv/PEADr/PEAD- g-MA 47/47/6</b>	47	47	6
<b>PEADr</b>	-	100	-

190°C (Tabela 2) e com velocidade de processamento de 60rpm. Foram obtidos pellets das blendas, através de granulação. O torque do processamento é mostrado na Tabela 3.

### *Obtenção dos corpos de prova*

Para a realização das análises de densidade, dureza Shore D e MEV os corpos de prova foram obtidos na forma de placa, em prensa hidráulica com temperatura de 190°C, pressão de três toneladas durante 3 minutos. As demais

análises foram feitas com o polímero na forma de pellets.

Tabela 2: Temperaturas das zonas de processamento da extrusora dupla-rosca.

<b>Zona</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Temperatura</b>	70	90	140	140	160
<b>°C</b>					
<b>Zona</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Temperatura</b>	160	180	180	180	190
<b>°C</b>					

Tabela 3: Variação do torque durante o processamento das blendas.

	<b>Torque</b>
<b>PEADv</b>	40-47
<b>PEADv/ PEADr 75/25</b>	39-42
<b>PEADv/ PEADr 50/50</b>	33-37
<b>PEADv/ PEADr 25/75</b>	32-37
<b>PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6</b>	40-47
<b>PEADr</b>	33-34

### *Caracterização dos materiais iniciais e das blendas*

As blendas obtidas foram analisadas por ensaios físico-mecânicos como densidade, dureza e índice de fluidez (MFI). As propriedades térmicas foram avaliadas pelas técnicas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) e análise termogravimétrica (TGA). A morfologia dessas blendas foi investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A análise de densidade das blendas foi executada segundo a norma ASTM D792-13 (2013). Foram separadas cinco amostras de tamanho 1x1cm, de cada grupo das blendas para a realização dos ensaios. As amostras foram pesadas secas e posteriormente submersas em um recipiente com água destilada, sendo avaliado o empuxo. A partir desses dados, o equipamento forneceu o valor da densidade aparente do material analisado. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando-se a média aritmética das três determinações.

Os ensaios de dureza foram executados segundo a norma ASTM D2240-05 (2010). Pelo método escolhido, o corpo de prova foi colocado em uma bancada, usando-a como apoio. Cinco pontos foram escolhidos e uma carga foi aplicada.

Com essa ação, o equipamento forneceu o valor da dureza Shore D do material analisado. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando assim a média aritmética das três determinações.

O índice de fluidez (MFI) das amostras foi avaliado segundo a norma ASTM D-1238-01 (2002). Foram separados 5,00g de cada amostra e colocada no equipamento que estava aquecido a uma temperatura de 190°C e submetido à carga de 2,160 Kg. Para cada amostra, foram coletadas 5 alíquotas no tempo de 2 minutos, cada. Após o resfriamento das alíquotas, cada uma foi pesada. A partir dos dados obtidos, foi calculado o valor do índice de fluidez, cuja unidade é expressa em gramas/10 minutos. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando assim a média aritmética das três determinações.

O TGA foi realizado no equipamento TA INSTRUMENT Q600 onde a massa da substância é medida em função da temperatura (ou tempo), enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura a uma atmosfera específica. A análise foi feita sob atmosfera de oxigênio, velocidade de 10°C/min,

com faixa de aquecimento compreendida entre 30 e 600°C.

A análise de DSC foi realizada em equipamento NETZSCH DSC 200 F3 TA. Essa técnica é utilizada para medir as transições térmicas características de um material que ocorrem durante o aquecimento e resfriamento da amostra em uma determinada faixa de temperatura. As condições de análise foram: taxa de aquecimento de 10 °C/min; faixa de temperatura variando da temperatura ambiente até 200 °C.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em microscópio eletrônico de varredura LEICA F440, nas seguintes condições: voltagem de aceleração de elétrons igual a 30 KV e ampliação de 250 e 500 vezes. As amostras foram submersas em nitrogênio líquido por alguns minutos, fraturados manualmente e posteriormente presas a um suporte e a superfície da fratura foi submetida ao revestimento com ouro. As amostras foram submetidas a um exame de sua microestrutura com o objetivo de estudar a morfologia e dispersão dos materiais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização físico-mecânica

Na Tabela 4 são apresentados os valores de densidade, dureza e índice de fluidez das amostras do PEADv, PEADr e suas blendas sem e com compatibilizante.

Tabela 4: Resultados de densidade, dureza e MFI das amostras puras e blendas.

Amostras	Densidade g/cm <sup>3</sup>	Dur. Shore D	MFI g/10 min
<b>PEADv</b>	0,93 ± 0,004	57,40 ± 1,140	7,54 ± 1,25
<b>PEADv/ PEADr 75/25</b>	0,91 ± 0,004	53,40 ± 0,548	4,39 ± 0,50
<b>PEADv/ PEADr 50/50</b>	0,93 ± 0,014	52,60 ± 0,548	2,42 ± 1,58
<b>PEADv/PEADr 25/75</b>	0,93 ± 0,003	52,20 ± 1,095	1,26 ± 1,44

<b>PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6</b>	0,95 ± 0,007	53,80 ± 0,447	1,62 ± 0,99
<b>PEADr</b>	0,97 ± 0,009	48,40 ± 0,894	0,62 ± 0,16

Observou-se uma tendência pouca expressiva de aumento da densidade das blendas com o aumento do teor de PEADr. O maior valor de densidade foi encontrado para a mistura compatibilizada provavelmente em virtude da melhoria na interface entre o PEADv e o PEADr (Adhikary *et al.*, 2008; Albano *et al.*, 1998; Albano & Sanches, 1999; Iniguez *et al.*, 2000; Lucas *et al.*, 2001; Pattanakul *et al.*, 1991).

A dureza Shore D das misturas ficou compreendida entre os valores dos polímeros puros. Na blenda compatibilizada observou-se um pequeno aumento da dureza em comparação as outras blendas. Este comportamento sugere a ação reforçadora do compatibilizante na blenda PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6 e indica que uma possível interação esteja ocorrendo entre os homopolímeros, comportamento este que pode ser atribuído a melhoria na interface entre o

PEADv e o PEADr (Albano *et al.*, 1998; Lucas *et al.*, 2001).

O MFI é comumente utilizado na investigação de interações entre os componentes de blendas imiscíveis. Assim, a diminuição do índice de fluidez implica no aumento da viscosidade do material como um resultado de reações e/ou interações entre as fases do sistema (Baouz & Fellahi, 2005). À medida que aumenta o teor de PEADr nas blendas o MFI tende a diminuir e se aproxima do valor do MFI do PEADr. Houve uma redução de aproximadamente 65% no MFI da blenda compatibilizada quando comparada a Blenda PEADr/ PEADv 50/50.

### Caracterização Térmica

A Tabela 5 apresenta os valores das temperaturas iniciais ( $T_{onset}$ ) e finais ( $T_{final}$ ) de degradação, a temperatura onde ocorre o máximo da degradação ( $T_{máx}$ ) e o teor de resíduos remanescente dos materiais após o análise. Todos os materiais degradaram em apenas uma etapa não deixando praticamente resíduo visto que as poliolefinas são constituídas basicamente de

carbono e hidrogênio (Mano & Mendes, 1999). As blendas apresentaram uma redução da estabilidade térmica dos materiais conforme o aumento do teor de PEADr. A relação do teor de PEADr na Blenda com PEADv e a estabilidade térmica são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a quantidade de PEADr na blenda, menor a estabilidade térmica. O compatibilizante promoveu uma melhora na estabilidade térmica da blenda quando comparada a Blenda PEADr/ PEADv 50/50.

Tabela 5: Valores de  $T_{inicial}$ ,  $T_{final}$  e  $T_{máx}$  dos materiais, e os resíduos.

Amostra	Temp. de Degradação (°C)		Resíduo (%)	Máximo de degradação (°C)
	$T_{inicial}$	$T_{final}$		
<b>PEADv</b>	419	488	0,27	472,72
<b>100</b>				
<b>PEADv</b>	375	491	0,04	480,38
<b>/</b>				
<b>PEADr</b>				
<b>75/25</b>				
<b>PEADv</b>	327	495	0,92	477,97
<b>/</b>				



**PEADr****50/50**

<b>PEADv</b>	319	492	0,76	479,53
--------------	-----	-----	------	--------

/

**PEADr****25/75**

<b>PEADv</b>	342	495	0,65	478,56
--------------	-----	-----	------	--------

/PEAD

r/PEA

D-g-

MA

**47/47/6**

<b>PEADr</b>	325	485	1,01	477,52
--------------	-----	-----	------	--------

**100**

As mudanças nas transições térmicas do PEADv, PEADr e suas blendas sem e com compatibilizante foram verificadas através dos resultados obtidos pelas curvas térmicas de DSC e podem ser observadas nas Figuras 1 e 2. A curva calorimétrica do PEAD apresentou a  $T_m$  em 148°C enquanto a curva térmica do PEADr apresentou a  $T_m$  em 144 °C (Costa *et al.*, 2014, 2016). Um fato não esperado na curva calorimétrica do PEADr foi a presença de dois

possíveis valores de  $T_m$  (127 e 178°C) que podem corresponder possivelmente à presença de impurezas em decorrência da heterogeneidade do material.

Segundo a literatura e dados da empresa fornecedora do PEADr, é possível que o primeiro valor de  $T_m$  (127) possa ser atribuída ao poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA), polímero esse que é adicionado durante o processamento para aumentar a flexibilidade (Alpire-Chávez, 2007), enquanto que o segundo valor de  $T_m$  (178) pode corresponder ao polipropileno - PP (Billmeyer, 1984; Canevarolo, 2004) material esse que pode ser encontrado misturado ao PEADr proveniente de sacolas plásticas descartados no lixo e que é utilizado neste trabalho.

A blenda com maior teor de PEADr também apresentou os valores de  $T_m$  atribuídos ao EVA e ao PP (Alpire-Chávez, 2007; Billmeyer, 1984; Canevarolo, 2004).

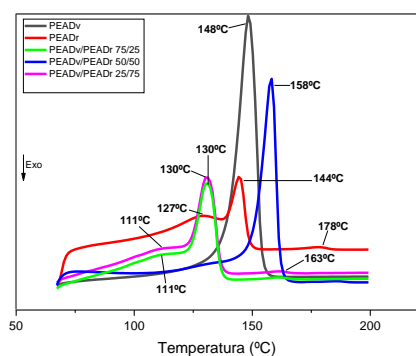


Figura 1: Curvas calorimétricas do PEADv, PEADr e suas blendas sem compatibilizante.

A Blenda PEADv/PEADr 50/50 sem compatibilizante apresentou um deslocamento da  $T_m$  para um valor superior ( $T_m$  em 158°C). A linearidade das cadeias do PEAD faz com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam eficientes permitindo que as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente. Sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta (Coutinho *et al.*, 2003).

A curva calorimétrica da blenda compatibilizada (PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6) apresentou um deslocamento do valor da  $T_m$  para temperatura inferior (119°C) a da blenda sem compatibilizante PEADv/PEADr 50/50 provavelmente em decorrência da possível

interação entre os homopolímeros, comportamento este que pode ser atribuído a melhoria na interface entre o PEADv e o PEADr corroborando com a análise de Densidade e Dureza.

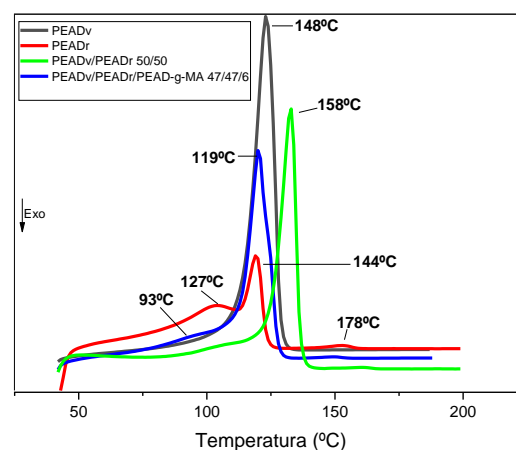


Figura 2: Curvas calorimétricas do PEADv, PEADr e suas blendas PEADv/PEADr 50/50 e PEADv/PEADv/PEAD-g-MA 47/47/6.

### Caracterização Morfológica

As figuras 3 e 4 apresentam as fotomicrografias de MEV das amostras de PEADv, PEADr e das blendas PEADv/ PEADr 75/25, PEADv/ PEADr 50/50, PEADv/ PEADr 25/75 e PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6 em 100  $\mu\text{m}$  e aumento de 250x e 50  $\mu\text{m}$  e aumento de 500x, respectivamente. O PEADv apresentou uma superfície rugosa enquanto o PEADr uma superfície mais homogênea. À medida que

aumenta o teor de PEADr nas blendas há uma tendência de diminuição da rugosidade.

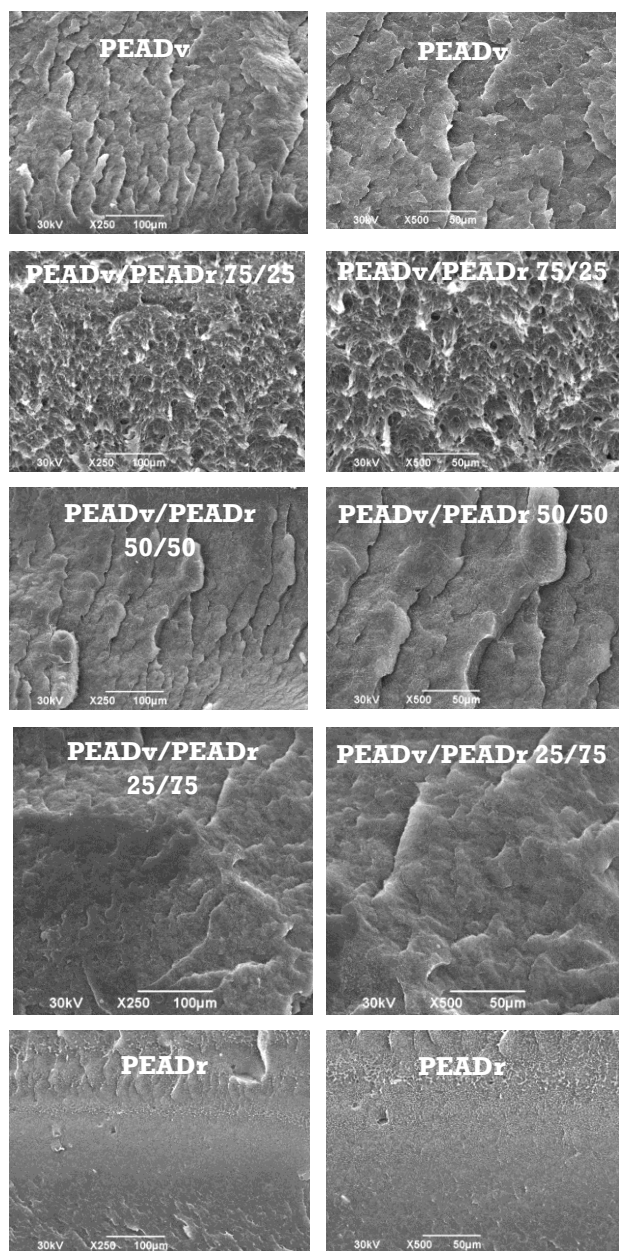


Figura 3: Micrografias das amostras de PEADv, PEADr e suas blendas, em aumento 250x e 500x.

A adição do compatibilizante (PEAD-g-MA) parece diminuir a rugosidade da blenda sugerindo uma possível melhoria na interação/compatibilização (Figura 4) entre os

materiais corroborando com os resultados discutidos anteriormente.

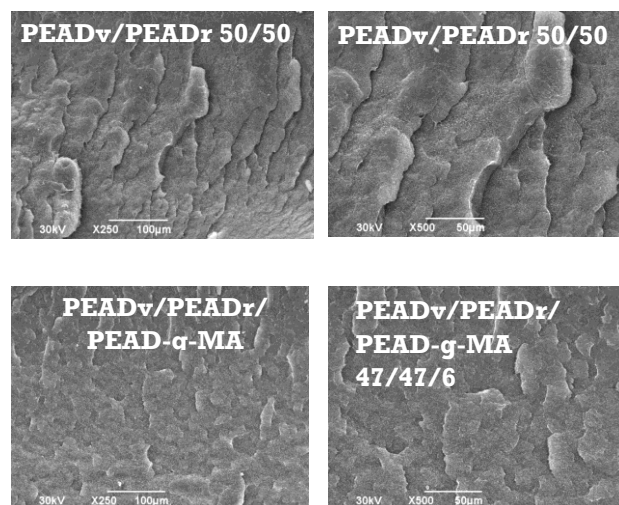


Figura 4: Micrografias das blendas PEADv/PEADr 50/50 e PEADv/PEADr/PEAD-g-MA 47/47/6, em aumento 250x e 500x.

## CONCLUSÃO

O efeito da variação da concentração de PEADr nas blendas estudadas foi pouco significativa nas propriedades físico-mecânica avaliadas. As blendas apresentaram uma redução na estabilidade térmica dos materiais e uma tendência de diminuição da rugosidade conforme o aumento do teor de PEADr. O PEAD-g-MA promoveu uma melhoria na compatibilização da Blenda PEADv/PEADr 50/50, fato esse comprovado pelas análises de Densidade, Dureza, MFI e MEV. Os resultados mostraram que o compatibilizante desempenhou um papel

importante na compatibilização da blenda avaliada.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARY, K. B.; PANG, S.; STAIGER, M. P. 2008. Dimensional stability and mechanical behaviour of wood–plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Composites Part B: Engineering* 39: 807-815.

ALBANO, C.; SANCHEZ, G.; ISMAYEL, A. 1998. Influence of a copolymer on the mechanical properties of a blend of PP and recycled and non-recycled HDPE. *Polymer Bulletin*, 41:91-98.

ALBANO, C.; SANCHEZ, G. 1999. Study of the mechanical, thermal, and thermodegradative properties of virgin PP with recycled and non-recycled HDPE. *Polymer Engineering & Science* 39:1456-1462.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. In: *Annual Book of ASTM*, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D2240-05: Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. In: *Annual Book of ASTM*, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1238-01: Melt flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. In: *Annual Book of ASTM*, 2002.

ALPIRE-CHÁVEZ, M., Influência do carbonato de cálcio nas propriedades físicas de espumas de EVA. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, 2007.

ALZERRECA, M.; PARIS, M.; BOYRON, O.; ORDITZ, D.; LOUARN, G.; CORREC, O. 2015. Mechanical properties and molecular structures of virgin and recycled HDPE polymers used in gravity sewer systems. *Polymer Testing* 46:1- 8.

BAOUZ, T & FELLAHI, S. 2005. Interfacial modification of high density polyethylene /glass fiber reinforced and non reinforced polyamide 66 blends. *Journal of Applied Polymer Science* 98:1748-1760.

BILLMEYER, F.W. *Textbook of Polymer Science*. Wiley, New York, 1984.

- CANEVAROLO JR, S.V. Técnicas de caracterização de polímeros. Editorial Artliber, São Paulo, v. 430, 2004.
- COSTA, H.M.; RAMOS, V.D.; ANDRADE, M.C.; LESSA, M.D. 2014. Cinética de cristalização não-isotérmica de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 24:521-528.
- COSTA, H.M.; RAMOS, V.D.; ANDRADE, M.C.; NUNES, QUINTANA, P.S. R. 2016. Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). *Revista Polímeros Ciência e Tecnologia* 26:75-81.
- COUTINHO, F. M. B; MELLO, I. L.; DE SANTA MARIA, L. C. 2003. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros Ciência e Tecnologia* 13:1-13.
- FARACA, G. & ASTRUP, T. 2019. Plastic waste from recycling centres: Characterisation and evaluation of plastic recyclability. *Waste Management* 95:388-398.
- IÑIGUEZ, C.G.; MICHEL, E.; GONZÁLEZ-ROMERO, V.M.; GONZÁLEZ-NUÑEZ, R. 2000. Morphological stability of postconsumer PET/HDPE blends. *Polymer Bulletin* 45: 295-302.
- JASSIM, A.K. 2017. Recycling of polyethylene waste to produce plastic cement. *Procedia Manufacturing* 8:635-642.
- LI, X.; XU, H.; LONG, S.; YUAN, Y.; WANG, P.; QIU, D.; KE, K. 2018. Improved compatibility in Recycled-PE/LDPE using glycidyl methacrylate, acrylic acid grafted mPE. *Polymer Testing* 69:508-513.
- LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica. Editora E-papers, 2001.
- LUNA, C.B.B.; SILVA, D.F.; ARAÚJO, E.M.; MELO, T.J.A.; OLIVEIRA, A.D. 2015. Estudo do Comportamento Mecânico, Termomecânico e Morfológico de Misturas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBR). *Revista Matéria* 20:322-334.
- MANO, E.B.; MENDES, L.C. Introdução a Polímeros. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1999.
- MARTINS, S.; BARROSA, M.M.; PEREIRA, P.S.C.; BASTOS, D.C. 2019. Use of manufacture

- residue of fluidized-bed catalyst-cracking catalyzers as flame retardant in recycled high density polyethylene. *Journal of Materials Research and Technology* 8:2386-2394.
- NASCIMENTO, W.A.; LIMA, J.C.C.; AGRAWAL, P.; LIRA, H.; MÉLO, T.J.A. 2013. Blendas de PP/PA6: efeito da concentração de PA6 e compatibilizantes reativos nas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* 8:155-162.
- PATTANAKUL, C.; SELK, S.; LAI, C.; MILTZ, J. 1991. Properties of recycled high density polyethylene from milk bottles. *Journal of Applied Polymer Science* 43:2147-2150.
- RAGAERT, K.; DELVA, L.; VAN GEEM, K. 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Manage* 69:24-58.
- RAHEEM, A.B.; NOOR, Z.Z.; HASSAN, A.; HAMID, M.K.A.; SAMSUDIN S.A.; SABEEN, A.H. 2019. Current developments in chemical recycling of post-consumer polyethylene terephthalate wastes for new materials production: A review. *Journal of Cleaner Production* 225:1052-1064.
- SINGH, N.; HUI, D.; SINGH, R.; AHUJA, I.; FEO, L.; FRATERNALI, F. 2017. Recycling os plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B* 115:409-422.
- TÓTH, B.; VARGA, C.; BARTHA, L. 2015. Olefin–maleic-anhydride copolymer based additives: A novel approach for compatibilizing blends of waste polyethylene and crumb rubber. *Waste Management* 38: 65-71.
- WANG, D.; YANG, B.; CHEN, Q.; CHEN, J.; SU, L.; CHEN, P.; ZHENG, Z.; MIAO, J.; QIAN, J.; XIA, R.; SHI, Y. 2019. A facile evaluation on melt crystallization kinetics and termal properties of low-density polyethylene (LDPE)/Recycled polyethylene terephthalate (RPET) blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 2: 126-135.
- ZANDER, N.E.; GILLAN, M.; BURCKHARD, Z.; GARDEA, F. 2018. Recycled polypropylene blends as novel 3D printing materials. *Additive Manufacturing* 25:122-130.
- ZHANG, J.P. & ZHANG, F.S. 2018. Recycling waste polyethylene film for amphoteric

superabsorbent resin synthesis. Chemical

Engineering Journal 331:169-176.