

RECICLAGEM DE POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRA

Rafael dos Santos Lima (IC) e Terezinha Jocelen Masson (Orientadora)

Apoio: PIBIC CNPq

RESUMO

O presente trabalho estudou e caracterizou o compósito desenvolvido com polipropileno reciclado (PP_r) reforçado com pó de ostra (P_O), um material cerâmico particulado, obtendo-se os compósitos C₁: (97%PP+3%P_O); C₂: (93%PP+ 7%P_O) e C₃: (90%PP+10%P_O). O polipropileno é uma resina de baixa densidade que oferece um bom equilíbrio de propriedades térmicas, químicas e elétricas, cujas resistências podem ser significativamente aumentadas ou melhoradas com a adição de materiais de reforços. A ostra é um molusco que possui corpo mole protegido por uma concha, que é constituída basicamente por carbonato de cálcio (CaCO₃), um alimento retirado do mar, utilizada em grandes quantidades pelos restaurantes, que utilizam o seu interior e descartam a sua casca (*Crassostrea gigras*) no meio ambiente. Essa casca, após lavada e tratada, constitui um material (pó de ostra) com elevada dureza, que pode ser utilizada como um reforço particulado em matrizes poliméricas, além de contribuir com a sustentabilidade do meio ambiente. O pó de ostra (P_O) foi incorporado ao PP nas proporções 3%, 7% e 10%, utilizando-se um misturador. Os corpos de prova foram preparados por fusão e em seguida, moldadas por injeção. O comportamento reológico dos corpos de prova foi realizado por meio do ensaio Índice de Fluidez e foram submetidos aos ensaios de caracterização mecânica: ensaio de resistência a tração, resistência à flexão, resistência ao impacto Izod; ensaios de caracterização térmica: temperatura de Distorção Térmica (HDT) e temperatura de amolecimento Vicat. Observou-se que os compósitos de PP reforçados com pó de ostra (P_O) se apresentaram como uma alternativa viável para diversas aplicações.

Palavras-chave: Polipropileno. Pó de Ostra. Preservação Ambiental.

ABSTRACT

The present work studied and characterized the composite developed with recycled polypropylene (PP_r) reinforced with oyster powder (P_O), a particulate ceramic material, obtaining the composites C1: (97% PP + 3% P_O); C2: (93% PP + 7% P_O) and C3: (90% PP + 10% P_O). Polypropylene is a low density resin that offers a good balance of thermal, chemical and electrical properties whose strengths can be significantly

increased or improved by the addition of reinforcement materials. The oyster is a shell-clam soft body, which is basically composed of calcium carbonate (CaCO_3), a food taken from the sea, used in large quantities by restaurants that use its interior and discard its shell (*Crassostrea gigas*) in the environment. After being washed and treated, this shell is a material (oyster powder) with high hardness that can be used as a particulate reinforcement in polymeric matrices, besides contributing to the sustainability of the environment. Oyster powder (PO) was incorporated into PP in 3%, 7% and 10% proportions using a mixer. The specimens were prepared by melting and then injection molded. The rheological behavior of the specimens was carried out by the Fluidity Index test and were subjected to the mechanical characterization tests: tensile strength, flexural strength, Izod impact strength; Thermal characterization tests: Thermal Distortion Temperature (HDT) and Vicat Softening Temperature. Oyster powder reinforced PP (PO) composites were found to be a viable alternative for several applications.

Keywords: Polypropylene. Oyster powder. Environmental Preservation.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros é crescente no cotidiano das pessoas e dados estatísticos apontam que mais de 52 milhões de toneladas de *commodities* são produzidos e despejados no meio ambiente. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de estudos para reaproveitar esses materiais descartados, pois quando não são enviados para a reciclagem, demoram décadas até séculos para se decompor. O acúmulo dessas substâncias no meio ambiente causa poluição, degradação ambiental, e prejudica todo o ecossistema terrestre.

A reciclagem é um processo de transformação dos materiais previamente triados para posterior utilização; é a recuperação de resíduos mediante uma série de operações, que permite que materiais processados sejam aproveitados como matéria-prima no processo gerador ou em outros (HOLGUIM, 2015). Se for desenvolvido um bom programa de reciclagem, que tenha características econômicas e ambientais favoráveis, pode-se estender a utilização desses materiais, inclusive fazendo-se substituições e provavelmente a ecologia determine a economicidade do processo (SILVA, 2015). A reciclagem além de evitar o esgotamento da matéria-prima, o seu processo gera renda para muitas famílias (durante a coleta, em linha de produção, ou nas mãos de artesãos), reduz o consumo de água e energia elétrica, pois gasta-se menos recursos ao reaproveitar os materiais que a extração de recursos.

Os compósitos são materiais produzidos para se incorporar as características de dois ou mais materiais diferentes. Inúmeros materiais particulados têm sido usados como carga em compósitos poliméricos para conferir melhores propriedades como temperatura de distorção ao calor e resistência a fluência. Este trabalho utilizou a matriz de polipropileno, pelo seu consumo elevado, gerando grande quantidade de materiais descartáveis, em residências, em universidades, lugares públicos e festas, uma vez que copos e pratos descartáveis são produzidos com esse material.

Segundo Sant'Anna (2007), com o crescimento da maricultura no Brasil, que compreende as atividades humanas desenvolvidas nos ambientes aquáticos de água salgada, também aumentou significativamente os impactos ambientais gerados por esta atividade. Em busca de uma maricultura sustentável, é importante uma correta destinação dos resíduos, principalmente das conchas de ostras.

1.1. OBJETIVO

Obtenção de materiais compósitos poliméricos, a partir de materiais totalmente reciclados (matriz de polímero reciclado) reforçado com pó de ostra, para aplicações

nos mais diferentes ramos da indústria (desde automobilístico, até utilidades domésticas).

Encontrar novas formas e novos processos para que materiais plásticos descartáveis possam ser tratados pós-consumo, contribuindo com para a redução de níveis de poluição, preservação ambiental e da flora e fauna do Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. POLÍMEROS

Polímeros são materiais que apresentam uma longa cadeia formada por unidades repetitivas denominadas monômeros que se apresentam em elevado número, constituindo uma macromolécula orgânica e podendo ser de origem sintética ou natural.

Os polímeros são formados por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e outros elementos não metálicos. A ligação química entre cada cadeia é covalente, enquanto que a ligação intercadeias é fraca. O grau de polimerização é definido como o número médio de unidades repetitivas que constituem as cadeias, macromoléculas que formam o material polimérico (ANTUNES, 2012). As tecnologias atuais exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais e estudos ressaltam a necessidade de materiais mais rígidos, leves, resistentes, e que ao mesmo tempo não sejam facilmente corroídos.

Os compósitos podem ser considerados como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que os constituem de tal forma que seja obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

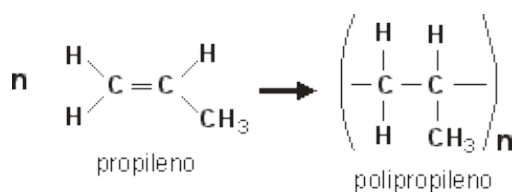
2.2. POLIPROPILENO (PP)

Em virtude de sua versatilidade de projeto a nível molecular, o polipropileno tem sido reconhecido como um bom material polimérico (MIRANDA et al, 2010).

O Polipropileno (PP) é um dos materiais termoplásticos mais utilizados e comercializados nos diversos ramos da indústria, para a obtenção de polímeros carregados ou reforçados (BEATRICE et al, 2010; CALLISTER, 2012). É classificado dentro da categoria dos polímeros com aplicações em engenharia, devido à sua grande versatilidade aliada ao bom desempenho em diversas condições.

O PP é um termoplástico obtido pela polimerização do monômero chamado propileno (C₃H₆) com grande variedade de massa molar, e é polimerizado por um processo de reação de poliadição (GIANELLI, FERNANDES, 2016). É um polímero semicristalino com densidade na faixa de 0,85 a 0,95 g/cm³ e índice de refração de 1,45. A sua temperatura de transição vítrea é aproximadamente -18°C e a temperatura de fusão é em torno de 165°C (CALISTER, 2012). São dois os tipos de PP: a) *homopolímeros*: sua polimerização é feita apenas com o propeno – monômero do polipropileno, e sua cadeia polimérica é composta por meros do mesmo tipo; b) *copolímeros*: têm sua cadeia composta principalmente por propeno e eteno em sua polimerização (tem sua cadeia composta por dois ou mais meros diferentes).

O esquema 1 apresenta a equação da reação de obtenção do polipropileno.



Esquema 1: Reação de obtenção do polipropileno

Devido a longa cadeia e o emaranhamento dos polímeros, os polímeros não são totalmente cristalinos. A temperatura de fusão do polímero (T_m) é sempre maior que a temperatura de transição vítrea (T_g). Assim, o polímero pode ser rígido e duro ou flexível. O desenvolvimento da cristalinidade em polímeros depende da regularidade da estrutura no mesmo.

Os compósitos de polipropileno foram desenvolvidos utilizando resinas diferenciadas, que permitem uma ampla gama de variações estruturais e morfológicas nos diferentes tipos de homopolímeros e copolímeros produzidos.

2.3 RECICLAGEM

Reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em novos insumos ou novos produtos.

Para que ocorra a reciclagem de um produto existem alguns fatores que são necessários para viabilizar o processo, é necessário que haja demanda para o produto resultante da reciclagem, existência de tecnologia para efetivar a transformação de resíduos, o custo envolvido no processo e proximidade do local de geração com o local de reciclagem do produto (CORRÊA, HEEMANN, 2016).

Os polímeros são considerados grandes vilões ambientais, pois podem demorar séculos para se degradar e ocupam grande parte do volume dos aterros sanitários.

Em média um copo plástico feito de polipropileno demora 50 anos para se degradar (PIVA; WIEBECK, 2004).

Resíduos poliméricos quando descartados em lugares inadequados, como lixões, rios e encostas, causam grande impacto ao meio ambiente. São responsáveis por enchentes, assoreamento das calhas dos rios e formação de verdadeiras ilhas de poluição em oceanos além dos danos que causam na fauna marinha (HOLGUIM, 2015).

No Brasil dão reciclados cerca de 953.000 toneladas de resíduo, porém esse número é ainda pequeno sendo que representa apenas 21% do volume produzido, quando comparado com Suíça que recicla cerca de 51% dos resíduos gerados.

Como princípios a reciclagem utiliza os 3R's:

- Redução – Consiste em ações que visem a diminuição de resíduos, seja por meio de minimização na fonte ou por meio de redução do desperdício;
- Reutilização – Ações que possibilitam a utilização para outras finalidades, otimizando ao máximo seu uso antes do descarte final;
- Reciclagem – É um conjunto de técnicas que tem por finalidade aproveitar os resíduos, e reutilizá-los no ciclo de produção que saíram.

O trabalho vai objetivar a reciclagem mecânica, que consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos plásticos após submetidos a um processo.

O processo de reciclagem mecânica possui cinco etapas:

Separação → Moagem → Lavagem → Aglutinação → Extrusão

2.4 PÓ DE OSTRAS (P_o)

A maricultura, ramo específico da aquicultura, está relacionada à produção de organismos aquáticos em águas marinhas, envolve o cultivo de peixes, de moluscos, camarões e algas. Já o termo ostreicultura é utilizado para o cultivo de ostras (PETRILLI, 2008). No Brasil a maricultura vem se desenvolvendo rapidamente e é no Estado de Santa Catarina que se concentra grande parte do cultivo de moluscos, e o país está em segundo lugar como grande produtor na América Latina. Mundialmente, os maiores produtores são: China, Peru, Japão, Índia e Estados Unidos, e o Brasil ocupa atualmente a 27ª posição deste ranking.

A ostra, como a maioria dos moluscos, possui corpo mole, protegido por uma concha. A concha é constituída basicamente por carbonato de cálcio (CaCO₃), que é retirado diretamente da água do mar com auxílio de glândulas localizadas no manto,

que é a camada que envolve as conchas internamente. Essas conchas podem ser utilizadas no ramo agrícola e no ramo industrial após o seu tratamento. O carbonato de cálcio é utilizado em pasta de papel, mármore compacto para pavimentos e revestimentos, adubos, indústria de cerâmica, tijolos, tintas, carga de polímeros, entre outros (COSTA, et al, 2012).

Casca de ostras, uma boa fonte de CaCO_3 , com grande produção e pouca reutilização, é um material de fonte natural que já é utilizado na indústria farmacêutica, mas muito pouco na indústria de polímeros. A ideia deste projeto é ampliar o uso de tal material para uso em compósitos com polipropileno, uma vez que este vem sendo usado cada vez mais, não só como produtos simples, mas como materiais de engenharia que necessitam de especificações especiais, reforçados, com maior resistência térmica, rigidez e dureza por exemplo. (SANT'ANNA, et al., 2007; PETRIELLI, 2008).

Pesquisas abordando o uso de conchas de ostras ainda são poucas, principalmente no Brasil, onde a atividade de cultivo desse molusco é muito recente (MENDONÇA et al, 2017).

Na Coréia, desde o início dos anos 1980 pesquisadores procuram soluções para a utilização das conchas de ostras (COSTA, et al, 2012). Devido à grande quantidade de casca de ostras (*crassostrea gigras*) produzida, se torna um grave problema ambiental e o governo incentiva pesquisadores a buscarem soluções viáveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

As formulações utilizadas são constantes da Tabela 1 e os dados dos materiais utilizados, foram obtidos a partir de determinações experimentais ou extraídos da literatura fornecida pelos fabricantes.

Tabela 1: Materiais Utilizados

Material		Observações
Matriz Polimérica Polipropileno reciclado (PP _r)	Resultante da coleta de Copos Descartáveis	Preparado no Laboratório de Materiais da UPM
Reforço Particulado Pó de ostra	CYSY Calcário e Conchas	Composição: Conchas marinhas e carbonato de cálcio Cálcio: 370g/kg Impurezas: 30g/kg Matéria Mineral: 970g/kg Umidade máxima: 2,5% Granulometria: 3,2 a 5,0mm

3.1.1 Termoplástico Polipropileno Modificado

A formulação dos corpos de prova é constante da Tabela 2.

Tabela 2: Composição das formulações Experimentais Obtidas

Denominação	Formulações	Composição
C ₀ - PP _{puro}	Matriz polipropileno (PP)	100% PP
C ₁	PP _r com 3% de pó de ostra	97%PP _r + 3%P _O
C ₂	PP _r com 7% de pó de ostra	93%PP _r + 7%P _O
C ₃	PP _r com 10% de pó de ostra	90%PP _r + 10%P _O

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Lavagem e Separação de Material (PP)

Os copos de PP coletados pelo setor de reciclagem da Universidade Presbiteriana Mackenzie, foram higienizados (lavados e em seguida foi realizada limpeza e separação de pequenas impurezas que estavam junto ao material coletado).

A limpeza foi realizada com água corrente e colocados para secar em temperatura ambiente, como apresentado na Fotografia 1.

Fotografia 1 – Copos Coletado em Processo de Secagem



3.2.2 Trituração e Preparação de Material

O material foi processado em aglomeradora, para compactar e ficar mais fácil a trituração do material, conforme a Fotografia 2.

Fotografia 2 – Material Triturado



Depois de aglomerado o material foi colocado em moinho de facas SEIBT, conforme Fotografia 3, resultando num material granulado para ser misturado de forma correta ao pó de ostra. O pó de ostra, nas proporções de 3%, 7% e 10% à matriz de polipropileno reciclado (PP_R) e com o auxílio de uma balança analítica as massas de matriz e carga foram aferidas e as concentrações separadas, conforme Fotografia 4..

Fotografia 3 – Moinho de Facas SEIBT



Fotografia 4 – PP_R e Pó de Ostra (P_O)



A mistura dos materiais foi realizada, por fusão, em um homogeneizador MH, conforme Fotografia 5. Depois de homogeneizado o material novamente foi levado ao moinho de facas para transformar o material em pequenas partículas para ficar mais fácil a moldagem, conforme Fotografia 6.

Fotografia 5 – Misturador MH



Fotografia 6 – ($PP_R + P_O$) Homogeneizado



3.2.3 Preparação dos Compósitos

Foram preparados os corpos de prova: PP_{puro}; C₁: 97%PP+3%P_O; C₂: 93%PP+ 7%P_O e C₃: 90%PP+10%P_O e injetados, para realizar os testes e a sua caracterização nos ensaios: reológico, mecânicos (ensaios de resistência à tração, à flexão de três pontos, ao impacto) e os térmicos (HDT e Vicat). Os corpos foram conformados com parâmetros de pressão de 1750 bar, velocidade de injeção 114 cm/s, temperatura no bico injetor de 240° C.

3.2.4 Caracterização dos corpos de prova.

As amostras foram caracterizadas por:

a) Ensaio Reológico: Índice de Fluides, conforme norma ASTM D1238. A adição do material de reforço particulado geralmente reduz o índice de fluides dos polímeros, pois a presença de partículas na matriz polimérica restringe a mobilidade das macromoléculas, dificultando o fluxo do polímero fundido e conseqüentemente aumentando a sua viscosidade.

b) Ensaios Mecânicos: Resistência à Tração (ASTM D 638-94), Resistência à Flexão (ASTM D 790), Resistência ao Impacto (norma técnica ASTM D 256-94).

c) Caracterização Térmica

- Temperatura de Distorção Térmica- HDT ou temperatura de deflexão ao calor, é obtida em ensaios normalizados que necessitam de um banho de óleo ou uma câmara com circulação de ar, com eficiente controle da temperatura. No procedimento do ensaio, segundo a norma ASTM D 648, a amostra com dimensões de 127 mm de comprimento, 13 mm de espessura e qualquer largura entre 3 e 13 mm, é colocada num suporte com dois apoios distantes 100 mm, e uma tensão de 455 kPa (66 psi) ou 1820 kPa (264 psi), é aplicada no centro do corpo-de-prova. A temperatura na câmara ou no banho é aumentada a taxa de 2^oC/min. A temperatura na qual o corpo-de-prova defletir 0,25 mm (0,01 pol) é definida como temperatura de deflexão ao calor (HDT) para 455 kPa ou 1820 kPa de tensão. HDT é um ensaio útil na comparação do comportamento relativo de vários polímeros nas condições do teste, mas é principalmente útil para os objetivos de controle e desenvolvimento de materiais poliméricos.

- Temperatura Amolecimento Vicat, conforme norma técnica ASTM D1525.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As formulações obtidas são constantes da Tabela 2, sendo Polipropileno (PP_R), Pó de Ostra (P_O).

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ

Os ensaios para a medida referencial do índice de fluidez (IF) foram realizados no Plastômetro Tinius Olsen, modelo MP993a, conforme pode ser visualizado na Fotografia 7. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D1238, utilizando a condição E (temperatura T = 230°C e massa M = 2,160kg).

Fotografia 7 – Plastômetro Tinius Olsen MP993a.



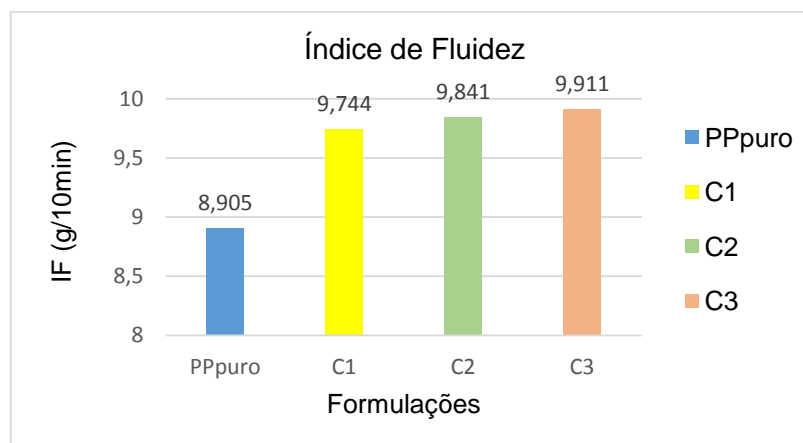
Os compósitos estavam na forma de grânulos irregulares, coletados após a etapa de extrusão em rosca dupla. A Tabela 3 apresenta os valores do índice de fluidez nas condições g/10min, 230°C, 2,16 kgf, obtidos para os compósitos PP/T*.

Tabela 3 - Resultados dos Valores Médios do Índice de Fluidez (IF)

Formulações	C ₀ (PP _r)	C ₁ 97%PP+3%P _O	C ₂ 93%PP+ 7%P _O	C ₃ 80%PP+10%P _O
IF	8,905 ± 0,065	9,744 ± 0,045	9,840 ± 0,028	9,911 ± 0,026

A partir da Tabela 3, foi elaborado o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados dos ensaios de Índice de Fluidez (IF)



A partir da Tabela 3 e do Gráfico 1, observou-se que em relação ao PPpuro, C₁ apresentou em acréscimo de aproximadamente 9,4%, C₂ (10,2%) e C₃ (11,3%). Os resultados do índice de fluidez, aumentaram com o número de ciclos, sugerindo que

ao longo do reprocessamento o material sofre uma degradação que leva à quebra de cadeias, o que reduz a massa molar do polímero e consequentemente, a sua viscosidade, aumentando o índice de fluidez.

4.2 ENSAIOS MECÂNICOS

4.2.1 Ensaios de Resistência à Tração

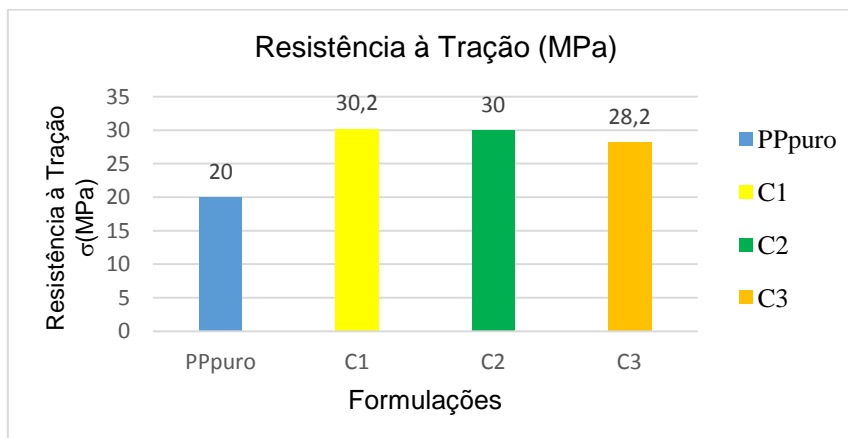
Os ensaios de tração foram realizados segundo a ASTM D 638-94, com 10 ensaios para cada composição. As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaios Zwick/Roel com célula de carga 500 kgf. A Tabela 4 apresenta os valores médios da resistência à tração obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP) e para os compósitos C₁, C₂ e C₃, devidamente acompanhados do seu desvio padrão.

Tabela 4 - Resultados dos Valores Obtidos de Resistência à Tração (σ)

Formulações	C ₀ (PP _r)	C ₁ 97%PP+3%P ₀	C ₂ 93%PP+ 7%P ₀	C ₃ 80%PP+10%P ₀
σ (MPa)	20,0 ± 3,1	30,2 ± 3,2	30,0 ± 2,9	28,2 ± 3,5

A partir da Tabela 4, elaborou-se o diagrama de barras, constante do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Resultados dos Ensaios de Resistência à Tração



A partir da Tabela 4 e do Gráfico 2 observou-se que o valor da resistência à tração do compósito C₁ é aproximadamente 51% maior que o do PP_{puro}; do C₂ é aproximadamente 50% maior que o do PP_{puro}; do C₃ é aproximadamente 41% maior que o do PP_{puro} reciclado, os valores de C₁ e C₂ praticamente se equivalem e C₃ é aproximadamente 6% menor que o valor de C₁ e que C₂.

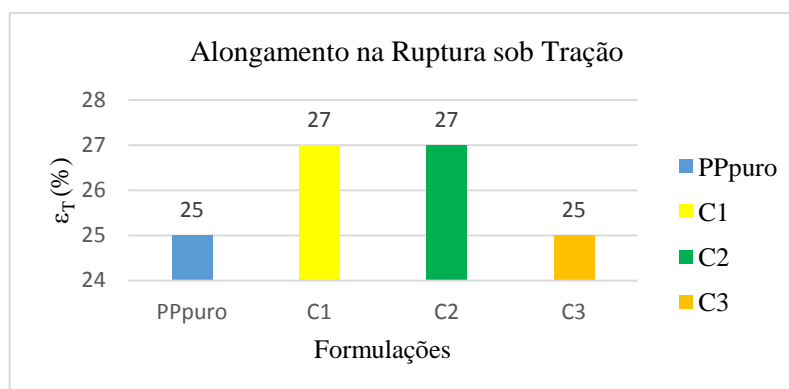
A Tabela 5 e o Gráfico 3 apresentam os resultados do alongamento na ruptura.

Tabela 5 - Resultados Obtidos no Ensaio Alongamento na Ruptura (ϵ_T)

Formulações	C ₀ (PP _r)	C ₁ 97%PP+3%P _o	C ₂ 93%PP+ 7%P _o	C ₃ 90%PP+100%P _o
ϵ_T (%)	25,0 ± 3,5	27,0 ± 2,0	27,0 ± 0,8	25,0 ± 7,4

A partir da tabela 6, elaborou-se o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Alongamento na Ruptura sob Tração



A partir da Tabela 6 e do Gráfico 3 observou-se que os valores obtidos no alongamento na ruptura, para as formulações C₁ e C₂ são 8% maiores que os valores para o PPpuro reciclado. Os valores para C₃ são 8% menor que os valores de C₁ e C₂.

4.2.2 Ensaio de Flexão – Resistência à Flexão (Mpa) e Módulo de Flexão (Mpa)

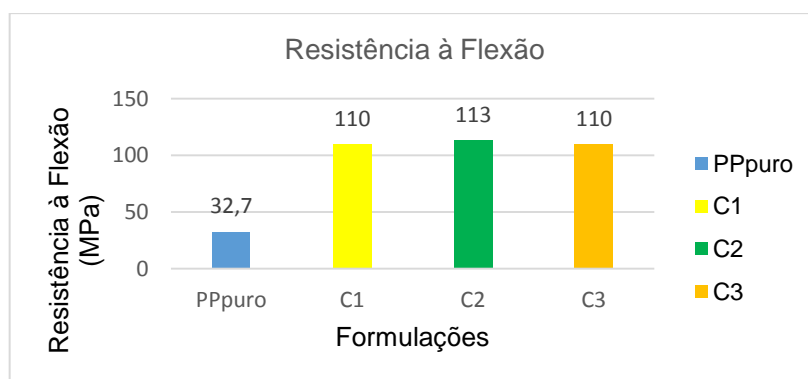
O ensaio de flexão foi realizado segundo a ASTM D 790-94, com 10 ensaios para cada composição, em Máquina Universal de Ensaio, com célula de carga 500 kgf. Para cada corpo-de-prova determinou-se a Resistência à flexão (σ_F) e o Módulo de elasticidade sob flexão (σ_F). A Tabela 7 apresenta os valores da resistência à flexão obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP_r) e para os compósitos C₁, C₂ e C₃.

Tabela 6 - Resultados dos Valores Obtidos de Resistência à Flexão (Mpa)

Formulações	C ₀ (PP _r)	C ₁ 97%PP+3%P _o	C ₂ 93%PP+ 7%P _o	C ₃ 90%PP+10%P _o
Valor Médio (Mpa)	32,7 ± 2,7	110 ± 4	113 ± 2	110 ± 2

A partir da Tabela 6 elaborou-se o Gráfico 4 dos valores da resistência à flexão obtidos para o polipropileno puro reciclado (PP_r) e para os compósitos C₁, C₂ e C₃.

Gráfico 4 – Resistência à Flexão



A partir da Tabela 6 e do Gráfico 4 observou-se um acréscimo aproximado de 236% nos valores a flexão da formulação C₁ em relação ao PP_{puro} reciclado; de 246% nos valores de C₂ em relação ao PP_{puro}; e 236% nos valores de C₃ em relação ao PP_{puro}.

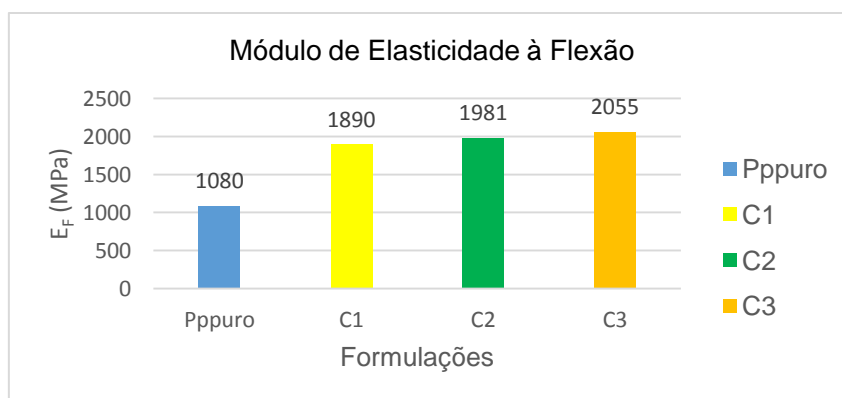
A Tabela 7 apresenta os valores médios obtidos nos ensaios do Módulo de Elasticidade à Flexão (MPa) entre o PP_{puro} reciclado (PP_r) e as formulações citadas, C₁; C₂ e C₃.

Tabela 7 - Resultados do Módulo de Elasticidade à Flexão CORRIGIDO

Formulações	C ₀ : PP _r E _F (MPa)	C ₁ E _F (MPa)	C ₂ E _F (MPa)	C ₃ E _F (MPa)
Valor Médio (MPa)	1080 ± 50	1890 ± 74	1981 ± 52	2055 ± 55

A partir da Tabela 7 elaborou-se o Gráfico 5 dos valores obtidos nos ensaios do Módulo de Elasticidade à Flexão (MPa) entre o PP puro e as formulações citadas.

Gráfico 5 – Ensaio Módulo de Elasticidade à Flexão



Pela Tabela 7 e o Gráfico 5 observou-se um acréscimo aproximado de 75% nos valores do Módulo de Flexão da formulação C₁ em relação ao PP_{puro}; um acréscimo aproximado de 83% nos valores de C₂ em relação ao PP_{puro}; e um acréscimo aproximado de 91% nos valores de C₃ em relação ao PP_{puro}.

4.2.3 Ensaios de Impacto

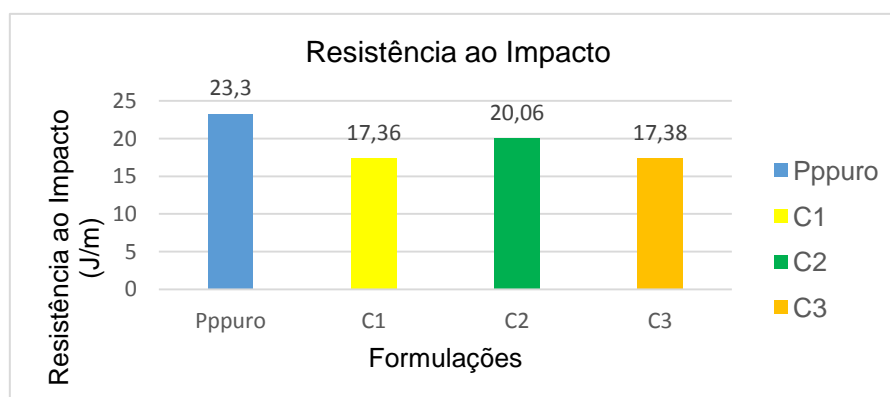
Os ensaios de impacto foram realizados segundo a norma ASTM D 256-94, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova com entalhe determinou-se a energia necessária para ruptura do material por impacto, sendo que a unidade utilizada nas determinações foi em Joule por metro (J/m).

A Tabela 8 e o Gráfico 6 apresentam os valores dos ensaios da resistência ao Impacto Izod com entalhe obtidos para o PP puro e para os compósitos C₁, C₂ e C₃.

Tabela 8 - Valores Médios dos Valores dos Ensaios de Impacto

Formulações	PP _{puro} J/m	C ₁ - PP/10%F _B /5%PSB J/m	C ₂ - PP/15%F _B /5%PSB J/m	C ₃ - PP/20%F _B /5%PSB J/m
Valor Médio	23,3 ± 0,6	17,36 ± 2,21	20,06 ± 1,64	17,38 ± 2,55

Gráfico 6 – Resultados de Resistência ao Impacto Impacto Izod



A partir da Tabela 8 e do Gráfico 6 observou-se que o valor da resistência ao impacto do PP_{puro} é aproximadamente 25% superior aos valores de C₂; 24% superior aos valores de C₂ e 25% superior aos valores de C₃. O valor médio do compósito C₂ é aproximadamente 16% superior ao valor de C₁ e os valores de C₁ e C₃ praticamente se equivalem. O valor médio de C₃ é aproximadamente 15% inferior ao valor de C₂.

4.3 ENSAIOS TÉRMICOS

4.3.1 Temperatura de Distorção ao Calor, sob Carga (HDT)

Foi utilizado o equipamento Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca Ceast, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D 648-94, com 05 ensaios para cada composição.

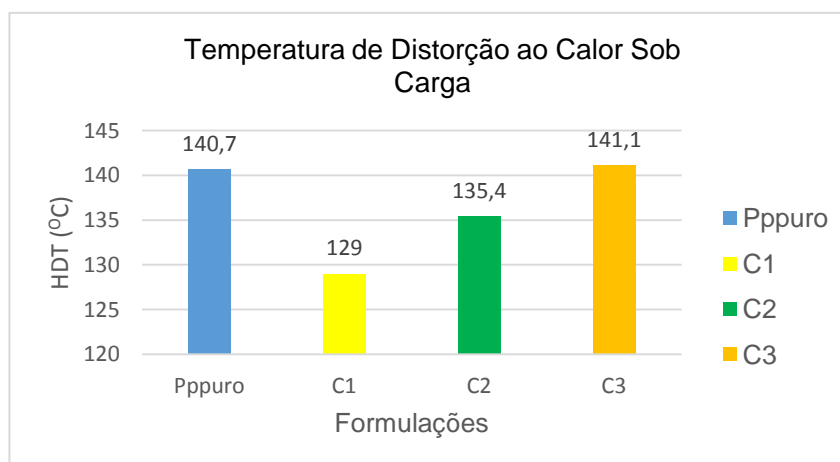
A Tabela 9 apresenta os valores dos ensaios de temperatura de distorção ao calor sob carga, a uma tensão de 455 kPa, obtidos para o polipropileno puro (PP) e para os compósitos C₁, C₂ e C₃, bem como o valor médio devidamente acompanhado pelo seu desvio padrão.

Tabela 9 - Valores Médios dos Ensaios de Temperatura de Distorção ao Calor Sob Carga Tensão de 455 kPa

Formulações	PP _{puro} HDT (°C)	C ₁ - PP/10%F _B /5%PSB HDT (°C)	C ₂ - PP/15%F _B /5%PSB HDT (°C)	C ₃ - PP/20%F _B /5%PSB HDT (°C)
Valor Médio	140,7 ± 2,4	129,0 ± 8,7	136,5 ± 2,9	141,1 ± 2,9

A partir da Tabela 9, foi elaborado um diagrama de barra da comparação entre os valores de HDT do PPpuro, C₁, C₂ e C₃, conforme o Gráfico 7.

Gráfico 7 – dos Ensaios de Temperatura de Distorção ao Calor Sob Carga



Observou-se uma redução de aproximadamente 8% nos valores de HDT de C₂ em relação aos valores do PPpuro; 3% de C₂ em relação ao PP puro e um acréscimo aproximado de 0,03% em relação do PP puro. O valor médio de C₂ é aproximadamente 6% superior ao valor de C₁, e o valor de C₃ é aproximadamente 9,4% superior ao valor de C₁.

4.3.2 Temperatura da Temperatura de Amolecimento Vicat - PAV (°C)

Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D-1525, com 05 ensaios para cada composição. A Tabela 10, apresenta os valores dos ensaios do ponto de amolecimento Vicat obtidos para o polipropileno puro (PP) e para os compósitos C₁, C₂ e C₃.

Tabela 10 - Resultados do Ensaio do Ponto de Amolecimento Vicat

Formulações	PP Puro	C ₁ - PP/T PP + Talco	C ₂ - PP/T* PP + Talco* (1:0,1)	C ₃ - PP/T* PP + Talco* (1:0,5))
-------------	---------	-------------------------------------	---	--

Ensaio	PAV (°C)	PAV (°C)	PAV (°C)	PAV (°C)
Valor Médio	161,4 ± 0,1	160,0 ± 0,1	161,1 ± 0,4	161,3 ± 0,2

De acordo com os valores obtidos nos ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat, não se observou variações significativas. Os resultados praticamente se equivalem.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os valores obtidos nos ensaios realizados observou-se que:

Os resultados do índice de fluidez, aumentaram com o número de ciclos, sugerindo que ao longo do reprocessamento o material sofre uma degradação que leva à quebra de cadeias, o que reduz a massa molar do polímero e conseqüentemente, a sua viscosidade, aumentando o índice de fluidez.

Nos ensaios de tração, houve um aumento de aproximadamente 50% em média nos valores da resistência à tração, e um aumento no alongamento sob tração, em relação aos valores do PP_{puro};

Nos ensaios de flexão, houve um acréscimo de aproximadamente de 240% em média, na resistência à flexão e um acréscimo de aproximadamente 80% em média nos valores dos módulos sob flexão dos compósitos obtidos, em relação ao PP_{puro};

Quanto aos ensaios de impacto, houve uma redução de aproximadamente 20% em relação aos valores do PP_{puro};

Nos ensaios térmicos, quanto ao HDT observou-se uma pequena redução nos valores dos compósitos C₁ e C₂ e um pequeno aumento nos valores de C₃, em relação ao PP_{puro}; nos valores de Temperatura de Amolecimento Vicat, não houve variações significativas. Os valores praticamente se equivalem;

A utilização de materiais biodegradáveis de fonte renovável, como o pó de ostras são muito atrativas devido à economia, facilidade de fabricação e a sua facilidade de degradação sem emissão de poluentes, gerando impacto social positivo sobre a sustentabilidade ambiental.

Assim, torna-se importante ao desenvolvimento e a análise de compósitos de polipropileno/pó de ostras para serem injetadas e utilizadas como objetos em geral,

que não requeiram alta resistência. A quantificação desse efeito poderá ser feita usando indicadores globais, inclusive o balanço de carbono, que poderá ser alvo de estudos complementares.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS ANTUNES, M.C., Durabilidade mecânica de Compósitos de Polipropileno com Reforço Híbrido de Fibra de Coco e Talco, Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

BEATRICE, C. A. G., BRANCIFORTI, M. C., ALVES, R. M. V., BRETAS, R. E. S. - J. Appl. Polym. Sci., 116, p.3581, 2010.

CALLISTER, W.D.; Fundamentos da ciência e engenharia dos materiais: Uma abordagem integrada. Rio de Janeiro: LTC, 2012

CORRÊA, M.E.R.M., HEEMANN, A., Proposta de substituição de copos plásticos descartáveis em fábrica de grande porte. Artigo. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Paraná, 2016.

COSTA, A. R. S.; OLIVEIRA, B.M.C.; ARAUJO, G.V.R., SILVA, T.E.P., EL-DEIR, S.G. Viabilidade do uso de conchas de mariscos como corretivo de solos. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Goiânia/GO – 19 a 22/11/2012

GIANELLI, I. A., FERNANDES, N.L., Polipropileno Reciclado Reforçado com Fibra de Buriti. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Materiais da UPM, São Paulo-SP, 2016.

HOLGUIN, I.C.C., Estudo do Comportamento do PP e PET Reciclados Submetidos a Intempéries e suas Possíveis Aplicações. Dissertação de Mestrado. Materiais da Engenharia. Universidade DE Brasília. Faculdade UnB Gama, Brasília, 2015

MASSON, T.J., Desenvolvimento e Reciclagem do Termoplástico Polipropileno Modificado pela Presença de Cargas Híbridas. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 1998.

MIRANDA, L. F., SILVEIRA, L. H., ANDRADE E SILVA, L. G., A. H. MUNHOZ JR, A. H. Irradiation of a Polypropylene-glass Fiber Composite. *Advances in Science and Technology Online: 2010-10-27, ISSN: 1662-0356, Vol. 71, pp 138-144* © 2010 Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AST.71.138

MENDONÇA, C.J.S.; DA COSTA, F.R.T.; MACIEL, A.P.; MINEIRO, T.Y.; BAUER, J.R.O.; CARVALHO, E.M.; SILVA, F.C. Transesterificação do óleo de babaçu utilizando pó de conchas de ostra de mangue (*crassostrea sp*) como catalisador. IN: 57º Congresso Brasileiro de Química. Gramado, R.S, 2017

PIVA, A; Wiebeck, H. Reciclagem de Polímeros – 2. Ed. – São Paulo – Artliber Editora Ltda, 2004

REGIS, T.M. Desenvolvimento e caracterização de compósitos híbridos a partir de polipropileno reciclado, resíduos de borracha de pneu e carbonato de cálcio. 2011 p. 22-23 Dissertação (Mestrado) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo 2011. Disponível em:
http://tede.mackenzie.com.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2256
acesso em: 28/março/2019

SANT'ANNA, F.S. Valorização dos resíduos da maricultura, Florianópolis, Santa Catarina. Projeto de Pesquisa – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SILVA , A. F A.T., Efeito do compatibilizante em polipropileno reciclado reforçado por pó de coco não-tratado. Trabalho de Final de Curso. Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.