

ÁREA TEMÁTICA: RECICLAGEM

INFLUENCIA DOS CICLOS DE REPROCESSAMENTO POR INJEÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE RESÍDUOS PROVENIENTES DE SACOLAS OXIBIODEGRADÁVEIS E CONVECIONAIS

Gabriel Sehnem Heck (*gabriel.heck@ufrgs.br*), Ruth Marlene Campomanes Santana (*ruth.santana@ufrgs.br*)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

RESUMO

As sacolas plásticas, constituídas tipicamente de polietileno de alta densidade (PEAD), são itens ainda muito utilizados no cotidiano, infelizmente apresentam um curto período de vida útil e acabam gerando grandes quantidades de resíduos. O cenário piora quando não há a coleta e destinação adequada destes resíduos. Os aditivos pró-degradantes compostos por sais de metais de transição surgem como uma alternativa diminuir o impacto causado pelo descarte inadequado de sacolas plásticas. Porém, o uso destes aditivos facilita a degradação do polímero, o que pode ser um fator negativo para a cadeia de reciclagem. O presente estudo avaliou a influência de aditivos pró-degradantes no processo de reciclagem de sacolas por injeção, comparando as características ópticas e mecânicas das amostras produzidas. Percebeu-se um escurecimento de ambas as amostras, porém as amostras derivadas das sacolas que contém o aditivo apresentaram perda de brilho e um leve amarelamento, indicando a possível iniciação da degradação. Evidenciou-se comportamentos típicos da reciclagem de PEAD, como o aumento da resistência ao impacto e a tração devido a reticulação da matriz polimérica. Por fim, não foi possível observar efeitos negativos da presença de aditivos pró-degradantes nas características mecânicas e no processo de reciclagem de PEAD por injeção.

Palavras-chave: Reciclagem; Pró-degradante; Injeção.

INFLUENCE OF REPROCESSING CYCLES BY INJECTION ON THE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF WASTE FROM OXYBIODEGRADABLE AND CONVENTIONAL BAGS

ABSTRACT

Plastic bags, typically made of high-density polyethylene (HDPE), are items that are still widely used in everyday life and unfortunately have a short useful life and end up generating large amounts of waste. The scenario worsens when there is no collection and proper disposal of this waste. Pro-degrading additives composed of transition metal salts appear as an alternative to reduce the impact caused by the inappropriate disposal of plastic bags. However, the use of these additives facilitates the degradation of the polymer, which can be a negative factor for the recycling chain. The present study evaluated the influence of pro-degrading additives in the process of recycling bags by injection, comparing the optical and mechanical characteristics of the sample produced. A darkening of both samples was noticed, however the samples derived from the bags containing the additive showed loss of brightness and a slight yellowing, indicating the possible initiation of degradation. Typical behaviors of HDPE recycling were evident, such as increased impact resistance and traction due to crosslinking of the polymeric matrix. Finally, it was not possible to observe negative effects of the presence of pro-degrading additives on the mechanical characteristics and in the process of recycling HDPE by injection.

Keywords: Recycling; Pro-degrading; Injection.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos são um recurso indispensável no cotidiano da sociedade, sendo utilizado nos diversos setores econômicos e possuindo qualidades sem as quais processos e produtos hoje existentes seriam física ou economicamente inviáveis de serem realizados. Essa grande demanda por este tipo de material tem como reflexo a produção de mais de 6 milhões de toneladas de produtos plásticos só no Brasil, sendo que os polietilenos representam cerca de 36% dos principais polímeros consumidos e o polietileno de alta densidade (PEAD) representa 13,5% do total, pouco mais de 800 mil toneladas (ABIPLAST, 2018). Por outro lado, mais da metade destes materiais plásticos produzidos apresentam uma vida útil inferior a 5 anos, gerando uma grande quantidade de resíduos que acabam sendo descartados de forma inadequada, tendo em vista que apenas 38% dos municípios brasileiros apresentam coleta seletiva (ABIPLAST, 2018; BRASIL, 2018), o que gera uma forte demanda por um consumo consciente destes materiais associados a práticas e técnicas de modo a gerir adequadamente estes resíduos.

Dentre os processos de transformação dos polímeros, a injeção é um processo muito importante pois somente através dele que é possível produzir produtos que requerem precisão no formato e conformação, de modo que este processo representa 33% dos transformados plásticos (ABIPLAST, 2018).

Uma das alternativas desenvolvidas para minimizar os impactos causados pela presença de plásticos no ambiente ou em aterros sanitários são os aditivos pró-degradantes incorporados a matriz polimérica, compostos principalmente por sais de metais de transição, que tem por finalidade iniciar o processo de degradação por oxidação abiótica e proporcionar o estabelecimento de microrganismos, possibilitando a biodegradação. Através desta alternativa surge o termo “plástico oxibiodegradável” (DE PAOLI, 2008). Se por um lado um polímero aditivado com pró-degradante pode em teoria ser convertido em água, gás carbônico e biomassa, por outro lado a presença destes aditivos pode prejudicar o processo de reciclagem pois, sendo incorporados estes aditivos, o produto final apresenta a capacidade de sofrer acelerada degradação, o que resulta na redução de sua vida útil (TELMO et al., 2009).

Através de duas soluções, a reciclagem e a adição de aditivos pró-degradantes, gera-se um conflito para a destinação final dos polímeros. Uma caminha para a lógica de reintroduzir resíduos no processo produtos, evitando a geração de rejeitos e diminuindo a pressão por matéria prima, enquanto que o outro caminha para a lógica de degradar o polímero no ambiente em que este vier a parar, diminuindo o seu impacto direto no ambiente, mas comprometendo o potencial de reciclabilidade.

2. OBJETIVO

Objetiva-se com este trabalho avaliar a reciclabilidade de sacolas de polietileno de alta densidade, contendo e não contendo aditivo pró-degradante (sal metálico), através de características ópticas e mecânicas, utilizando o processo de injeção para reprocessar por três vezes.

3. METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho, foram adquiridas sacolas plásticas com alças de distribuidoras de materiais plásticos. Os requisitos para a escolha das sacolas foram a composição e a presença de aditivo pró-degradante, sendo que o material escolhido foi o polietileno de alta densidade (PEAD) pois as sacolas plásticas de supermercado são geralmente feitas com este polímero. Ao fim, foi utilizado cerca de 400 g de sacolas plásticas convencionais, que não contém aditivo (N), e cerca de 500 g de sacolas plásticas denominadas como “oxibiodegradáveis”, que contém aditivo pró-degradante metálico (O). Na Figura 1 são mostradas imagens fotográficas das sacolas utilizadas neste trabalho, assim como o destaque para a rotulagem das sacolas O.

Figura 1. Imagens fotográficas das sacolas utilizadas para o reprocessamento



A – Sacola convencional (N). B – Sacola oxibiodegradável (O). C – Rotulagem da sacola O.

3.2 Métodos

Inicialmente, as sacolas foram aglutinadas separadamente em uma aglutinadora de filmes plásticos. O material aglutinado foi processado na injetora de plásticos BONMAQ, modelo APTA 80, onde foram moldados os corpos de prova necessários para a caracterização da primeira injeção. Após separados os corpos de prova para ensaio de impacto e tração, o restante do material foi moído em um moinho de facas, com abertura da peneira de 5 mm. Este processo foi repetido mais duas vezes, realizando-se assim os três ciclos de injeção para cada tipo de amostra, convencional (N) e oxibiodegradável (O).

Para nomear as amostras, foram escolhidos códigos de dois caracteres, sendo que o primeiro caractere é a letra “N” ou a letra “O”, indicando que não contém aditivo pró-degradante ou que é oxibiodegradável (contém o aditivo), respectivamente, e o segundo caractere indica a quantidade de reprocessamentos por injeção. Deste modo obteve-se três grupos de reprocessamento para cada material, sendo elas N1, N2 e N3 referente aos três ciclos de injeção oriundos das sacolas que não contém aditivo pró-degradante e O1, O2 e O3 referente aos três ciclos de injeção oriundo das sacolas oxibiodegradáveis, que contém o aditivo.

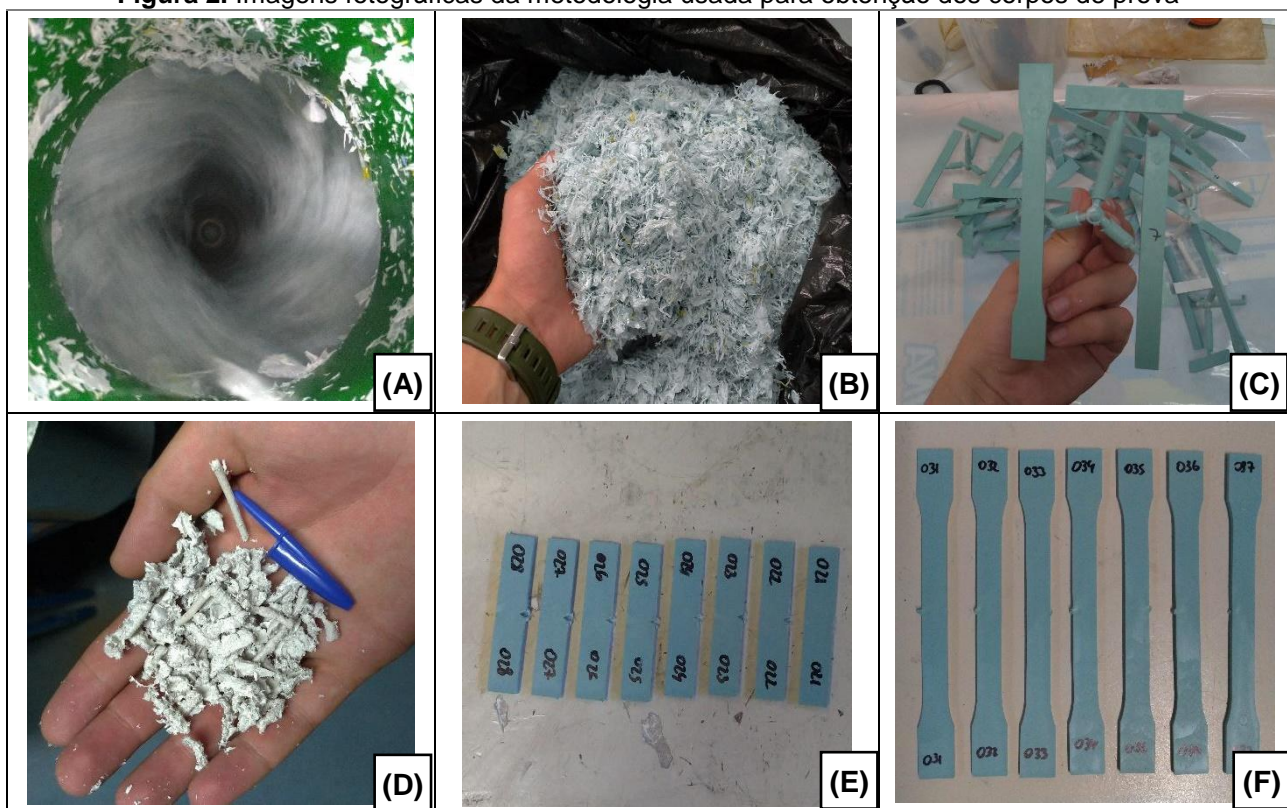
3.3 Caracterização

A espessura das amostras injetadas foi determinada através de medidor de espessura da marca Mainard modelo M-73010, assim como a espessura dos corpos de prova, e a largura dos corpos de

prova foi determinado com auxílio de um paquímetro da marca Mitutoyo Measuring Instruments modelo Digimatic Caliper.

Para a caracterização óptica, foi utilizado um colorímetro portátil, marca BYK, modelo Spectro-Guide, sendo adotado o sistema de cores CIELAB (a, b, L e brilho), realizada triplicata. O ensaio de resistência ao impacto foi realizado no equipamento da marca Instron, modelo Impactor II, tipo de impacto Izod, e o ensaio mecânico de tração foi realizado no equipamento marca Instron, modelo EMIC 23-5D, com célula de carga de 5 kN, velocidade de 50 mm/min, e foram usadas 7 corpos de prova por reprocessamento. O processamento pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2. Imagens fotográficas da metodologia usada para obtenção dos corpos de prova



Etapas do processamento: A – Aglutinação dos filmes. B – Material aglutinado. C – Material injetado. D – Material injetado moído. E – Corpo de prova de impacto com entalhe. F – Corpo de prova de tração.

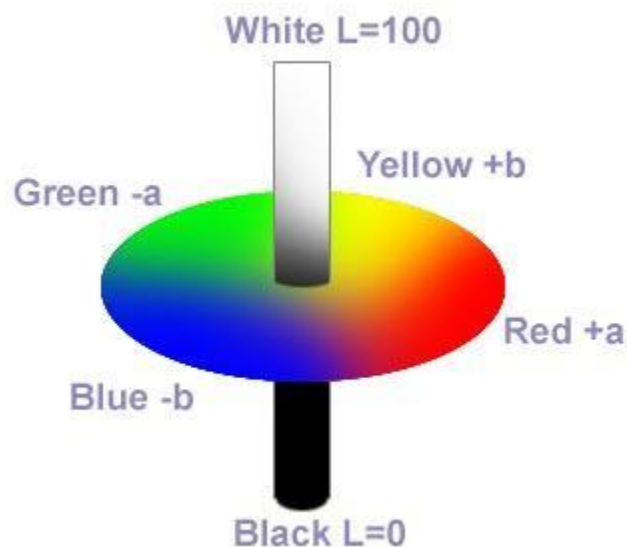
Os ensaios mecânicos de impacto e tração foram realizados seguindo normas internacionais, sendo elas a ASTM D256 e ASTM D638 respectivamente. No ensaio Impacto foi usado o tipo Izod com martelo de 11 J, Marca, modelo e na de tração foi usado a Máquina Universal INSTRON. Através de testes preliminares no ensaio de impacto Izod optou-se por realizar um entalhe de 2 mm nos corpos de prova, conforme norma. Todos os ensaios mecânicos foram realizados em 7 corpos de prova de cada reprocessamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ensaios colorimétrico

Devido ao fato das sacolas plásticas oxibiodegradável possuírem tintas coloridas (pigmentos orgânicos) na sua superfície para impressão das informações, os primeiros corpos de prova moldados por injeção apresentaram variações visíveis de coloração. Para evitar tendências no resultado de cor, principalmente na primeira injeção das amostras O, foram realizadas três medidas em três diferentes corpos de prova, totalizando nove medidas para as amostras de cada reprocessamento. A Figura 3 ilustra o sistema de coordenadas CIELAB de cores utilizado, onde a+ significa vermelho, a- significa verde, b+ significa amarelo, b- significa azul, L = 0 preto e L = 100, branco, enquanto a Tabela 1 apresentada os resultados da análise colorimétrica, cujos valores são resultados da média das nove medidas.

Figura 3. Representação visual do sistema de cores CIELAB



Através da combinação dos valores de a^* e b^* é possível a formação das cores. O parâmetro L^* indica a luminosidade da cor, sendo que quanto maior o valor de L^* , mas clara a cor.

Tabela 1. Resultados das medidas colorimétricas das amostras avaliadas

Amostra	L^*	a^*	b^*	Brilho
N1	87,49 ± 1,36	0,22 ± 0,03	3,81 ± 0,64	5,78 ± 2,12
N2	86,31 ± 0,20	0,23 ± 0,18	3,18 ± 0,17	9,35 ± 3,08
N3	84,91 ± 0,44	-0,32 ± 0,04	2,82 ± 0,34	8,95 ± 3,88
O1	71,56 ± 0,24	-12,57 ± 0,72	-0,03 ± 1,97	6,07 ± 1,71
O2	70,92 ± 0,13	-12,78 ± 0,12	1,16 ± 0,34	7,04 ± 3,11
O3	70,21 ± 0,20	-12,27 ± 0,04	0,77 ± 0,07	4,17 ± 1,57

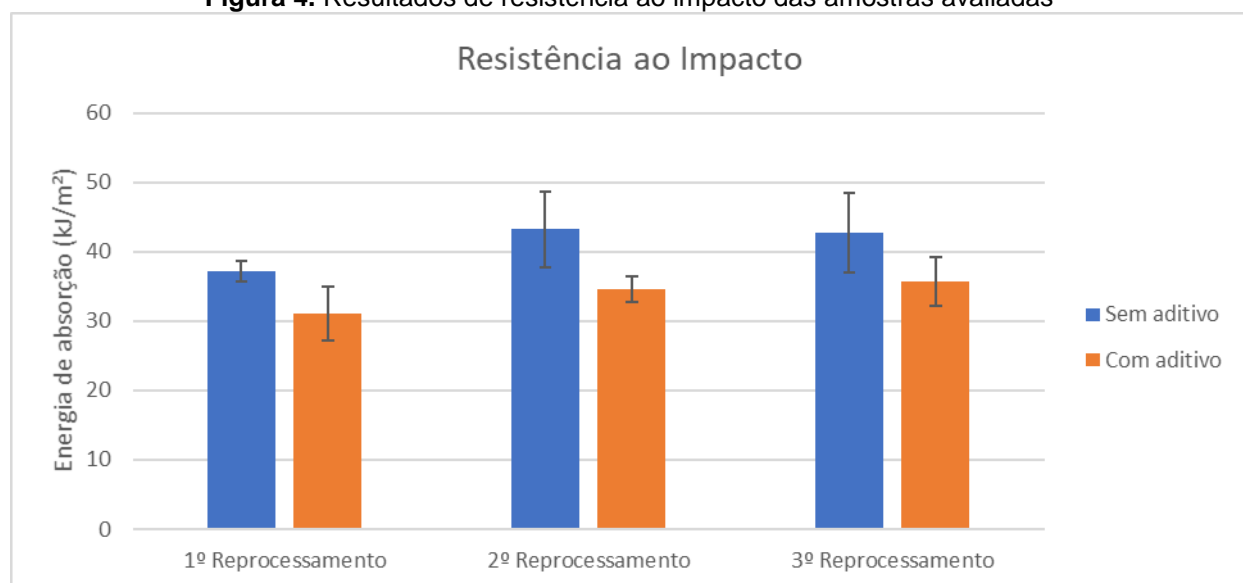
Com base nos resultados expressos na Tabela 1, percebe-se um pequeno escurecimento de ambas as amostras conforme o número de reprocessamento de injeção, observado pela diminuição do parâmetro L^* . Cabe mencionar que os valores de L são maiores nas amostras N, devido a estas serem proveniente de sacolas sem impressão gráfica, conforme mostrado na Figura 1-A. O parâmetro a^* apresenta diferença para o último ciclo das amostras N, passando de uma cor levemente avermelhada para uma cor levemente esverdeada; já as amostras O apresentaram valores negativos indicando a coloração verde (Figuras 2-C, 2-E e 2-F). Em relação ao parâmetro b^* , nota-se que as amostras N apresentam a cor amarelada, com um leve decréscimo com o aumento dos ciclos de reprocessamento, enquanto as amostras O, apresentaram uma mudança de coloração de azulada para amarelada. O amarelamento pode estar associado a degradação do polímero conforme evidenciado na literatura (DE PAIOLI, 2006; LAZZARON; SANTANA, 2017). Por fim, observa-se que nas amostras N há um aumento do brilho, mas o contrário ocorre nas amostras O, e esta diminuição do brilho associado ao amarelamento podem indicar que as amostras O apresentam um processo de degradação mais acelerado que as amostras N.

4.2 Propriedades mecânicas

4.2.1 Impacto

A resistência ao impacto é fundamental para a escolha de materiais que atendem a determinadas necessidades. O ensaio foi realizado com um martelo de 11 J, porém não foi suficiente para romper as amostras, mesmo contendo entalhe. Desta forma a Figura 4 apresenta os resultados relativos à resistência ao impacto, considerando fratura parcial.

Figura 4. Resultados de resistência ao impacto das amostras avaliadas



Observa-se que há um aumento da resistência ao impacto conforme aumento o número de reprocessamentos em ambas as amostras. Esse aumento também já foi registrado na literatura e pode ser relacionado ao fenômeno de reticulação que ocorre no polímero durante a injeção, devido as altas temperaturas e mudança de fase (PINSASU et al., 2009). A reticulação ocorre quando duas ou mais cadeias poliméricas são unidas por uma ponte de átomos entre elas (CANAVEROLO, 2006), o que neste caso poderia ter aumentado o tamanho da cadeia e tornado polímero mais tenaz. Nota-se também que as amostras N (sem aditivo) apresentam valores maiores absorção de energia do que as amostras O (com aditivo).

4.2.2 Tração

Os resultados do ensaio de tração fornecem informações importantes a respeito da resistência mecânica e tenacidade do material. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam o módulo de Young e a tensão e deformação no escoamento, respectivamente.

Figura 5. Módulo de Young das amostras avaliadas

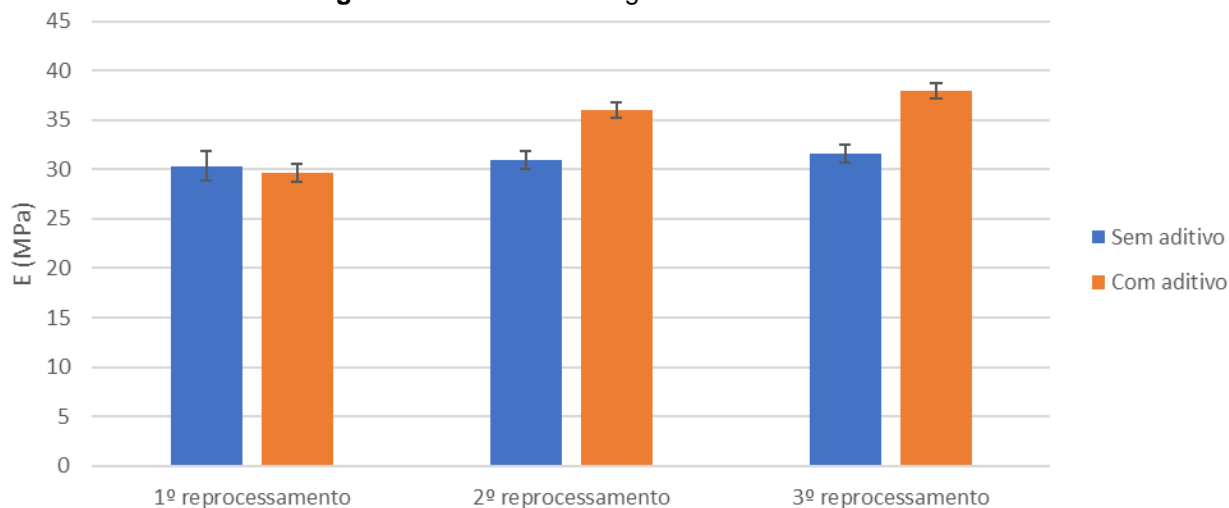


Figura 6. Tensão máxima no escoamento das amostras avaliadas.

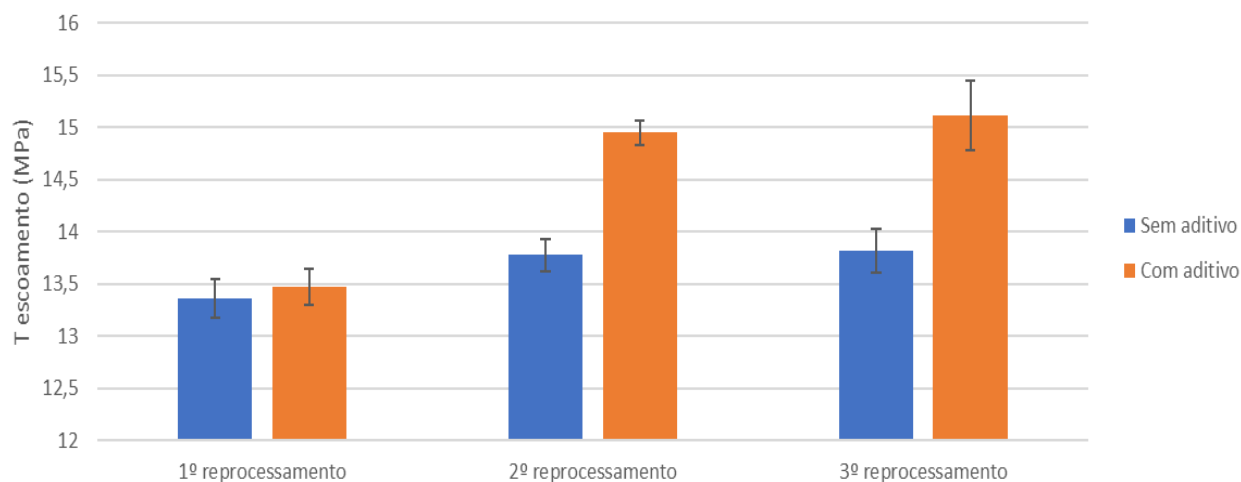
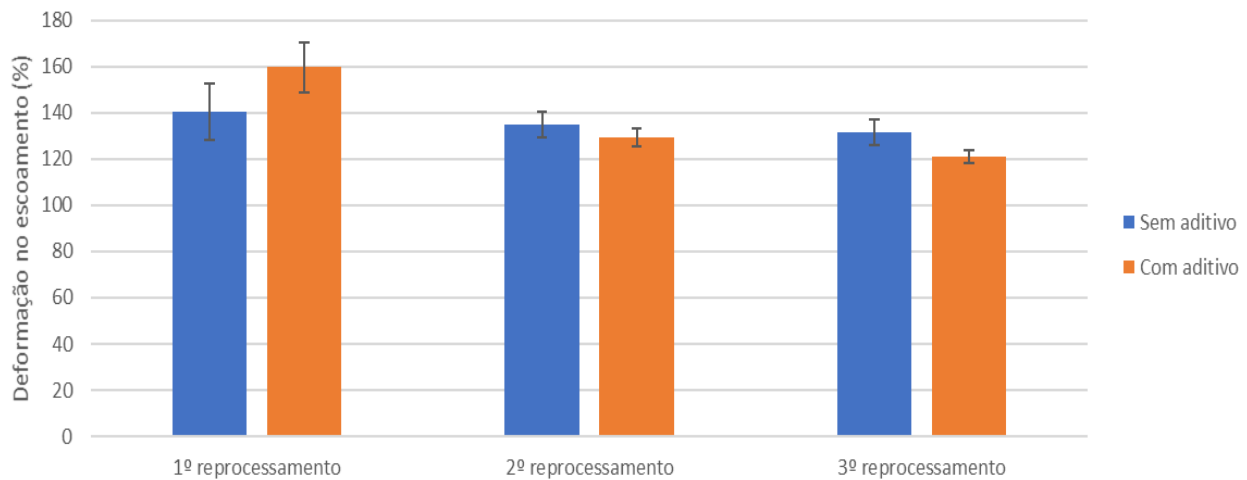


Figura 7. Deformação no Escoamento das amostras avaliadas



Através das Figuras 5 e 6, observa-se, semelhante ao resultado do ensaio de impacto, um aumento na resistência tração tanto referente ao módulo de Young tanto a tensão máxima no escoamento, sendo que o aumento é mais evidenciado nas amostras O. Estes resultados são semelhantes aos encontrados em uma pesquisa onde foi induzida a reticulação em polietileno de baixa densidade e após realizado o ensaio de tração (BOZZA et al., 2016). A reticulação pode ser confirmada ao analisar a Figura 7, pois a deformação no escoamento torna-se cada vez menor com o avanço dos reprocessamentos, o que indica que o material torna-se menos dúctil ao passo que necessita maiores esforços para iniciar o escoamento.

Verifica-se que na Figura 6, no primeiro reprocessamento ambas as amostras apresentaram similar módulo e tensão no escoamento, porém com o aumento dos reprocessamentos houve diferença entre elas.

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foi avaliado a influência de ciclos de reprocessamento por injeção em dois tipos de amostras de sacolas plásticas comum em supermercados, sem e com pro-degradante. Inicialmente, através da análise colorimétrica, não foi possível perceber grandes mudanças na cor em cada reprocessamento e em ambas as amostras, portanto não é possível perceber aspectos da degradação, como o amarelamento. Porém, a perda do brilho das amostras indica que houve uma mudança óptica em relação as características do polímero, que poderia ser um indicativo de início de degradação.

Com relação ao desempenho mecânico das amostras, ambas as amostras apresentaram um aumento do desempenho com o aumento dos reprocessamentos, tanto para a resistência ao impacto quanto para a tração. Este aumento relaciona-se ao efeito de reticulação do polímero, que pode ser originado pela quebra das cadeias poliméricas, porém tão logo uma cadeia rompe-se, ela logo conecta-se a outra cadeia, mantendo a integridade do polímero. Esta característica é de interesse para o desenvolvimento de produtos que sejam resistentes ao impacto, tais como equipamentos de proteção para a prática de esportes. Por fim, não foi percebida a atuação do aditivo pró-degradante nas propriedades ópticas e mecânicas do polietileno de alta densidade, indicando que não há interferência negativa do uso de pró-degradantes no processo de reciclagem, porém o estudo foi realizado em um período de tempo relativamente curto e em ambiente controlado, não havendo exposição do polímero as intempéries naturais.

6. REFERÊNCIAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. PERFIL 2018. 2018. 89 p. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf>. Acesso em: 02/03/2020.

BOZZA, M.; PALERMO, G. S.; SOARES, E. M.; FILHOS, J. R. F. R.; BETONI, I. V.; SILVA JUNIOR, F. C. A.; MOTA, C. A. P. C.; MONSORES, K. G. C.; WEBER, R. P. Avaliação da reticulação em polímeros degradados. Revista Militar de Ciência e Tecnologia. V. 33, N. 2, p. 102-104, 2016.

BRASIL – Ministério do Desenvolvimento Regional. Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Brasília, SNS/MDR, 2019. 247 p. Disponível em <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2018/Diagnostico_RS2018.pdf>. Acesso em: 02/03/2020.

CANAVEROLO, S. V. Jr. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2ª edição. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 282 p.

DE PAOLI, M. A. Degradação e Estabilização de Polímeros. 2ª versão on-line (revisada). Chemkeys, 2008. 221 p. Disponível em: <<http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>>. Acesso em: 02/03/2020.

LAZZARON, G. P.; SANTANA, R. C. Estabilidade das mangueiras de PVC em diferentes ambientes: Alta temperatura, intempérie e compostagem. Anais do 14º Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPOL). 2017.

PINASU, L.; UEKI, M. M.; MÉLO, T. J. Influência no teor de polietileno reciclado no índice de fluidez e nas propriedades mecânicas de peças obtidas no processo de rotomoldagem. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPOL). 2007. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/695.pdf>>. Acesso em: 30/03/2020

TELMO, F. M. O.; DALMOLIN, E.; FORTE, M. M. C.; JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O. Abiotic and biotic degradation of oxo-biodegradable polyethylenes. Polymer Degradation and Stability. V.94, n.6, p. 965-970, 2009.