

ARTIGO REF: 6621

## DESIGN DE NOVOS PRODUTOS COM RECICLAGEM DE PET

Flávia Freixa<sup>1(\*)</sup>, Jorge Lino Alves<sup>1,2,3</sup>, Bárbara Rangel<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Mestrado em Design Industrial e de Produto, UPorto, Porto, Portugal

<sup>2</sup>INEGI, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

<sup>3</sup>DesignStudio/FEUP, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

(\*)*Email*: flaviafreixa@gmail.com

### RESUMO

A indústria dos plásticos é hoje responsável por grande parte da poluição ambiental. Devido ao baixo custo desta matéria-prima e processos de produção, os produtos plásticos são usados de uma forma fugaz. Muitos destes produtos acabam a flutuar no mar, como é o caso da maior lixeira flutuante do mundo no Oceano Pacífico. Alguns dos produtos de elevado consumo, como as garrafas de água, refrigerantes, são constituídos por PET (Politereftalato de Etileno) que é um dos polímeros termoplásticos mais utilizados. No desenvolvimento de uma tese de mestrado foi realizado um estudo para viabilizar um processo de fabrico considerando esta matéria-prima, bem como outros materiais que facilitassem o processo de industrialização. Este trabalho teve como parceria uma empresa especializada na reciclagem de PET, fornecedora do material, para o desenvolvimento dos novos produtos. Neste trabalho foram considerados três casos de estudo com utilidade prática, tais como: havaianas, botões e colares.

### INTRODUÇÃO

A poluição derivada de produtos em termoplástico é uma preocupação ambiental que tem vindo a crescer diariamente. Estes componentes são industrialmente apetecíveis, uma vez que são facilmente produzidos em grandes séries com custos muito reduzidos. Este facto faz com que se gere um elevado volume de resíduos que entram no ambiente marinho, levando a determinadas consequências como várias espécies em perigo de extinção (Wilcox et al., 2016). Esta poluição está distribuída de uma forma global por todos os oceanos devido às suas propriedades de leveza e durabilidade. A absorção de substâncias tóxicas ligadas ao plástico levou investigadores a afirmar que os polímeros nos oceanos são resíduos perigosos (Eriksen et al., 2014).

Além da poluição visual, existem outros impactos associados aos ecossistemas e biodiversidade, como na vida das pessoas e sociedade. Por exemplo, às zonas costeiras, praias, rios e mares chegam todos os dias peças em plástico que colocam em perigo os animais que ingerem essa matéria-prima ao invés de alimento (APLM, 2014). Mais de 90% dos detritos marinhos encontrados em várias localizações são de plástico. Estes materiais sofrem processos de foto-degradação, degradação térmica, química e mecânica, causando a sua fragmentação (Sobral et al., 2015).

Este trabalho procurou encontrar soluções para a problemática desta poluição, nomeadamente através do reaproveitamento do plástico PET (Politereftalato de Etileno), e também de tampas de garrafas em polietileno (PE) e polipropileno (PP), para a produção de produtos já existentes ou na criação de novos produtos. Alguns projetos de design analisados

possibilitaram uma melhor compreensão dos processos de fabrico utilizados na produção de produtos feitos a partir da reciclagem de termoplásticos, constituindo também um ponto de partida para o desenvolvimento deste trabalho, podendo-se referir os projetos: Sea Chair (2012) de Alexander Groves & Azusa Murakami; Precious Plastic (2013) de Dave Hakkens; ou The New Raw (2015) de Foteini Setaki e Panos Sakkas.

Os objetivos e a metodologia adotada durante o trabalho passaram por identificar a matéria-prima e os seus modos de processamento; procurar soluções para reduzir o seu desperdício e explorar as vertentes do Eco Design e sustentabilidade (reduzir, reutilizar, reciclar) através da realização de trabalho experimental que conduzisse ao desenvolvimento de novos produtos com uma forte componente de Design.

## **DESIGN, EMBALAGENS E AMBIENTE**

Os polímeros são considerados uma das grandes preocupações ambientais, pois demoram muitos anos para se degradarem e ocupam um grande volume dos aterros sanitários. A reciclagem é sem dúvida uma das soluções mais viáveis para minimizar o seu impacto ambiental (Spinacé e Paoli, 2005). Segundo Vitor Papanek (1995), uma das principais dificuldades reside no facto de os plásticos não se desfazerem: “Calcula-se que uma garrafa de plástico deitada fora se conserve por cá entre duzentos e quatrocentos anos”.

Nem todas as embalagens têm o mesmo impacto ambiental e o mesmo tipo de embalagem pode ter um impacto diferente dependendo do local onde foi produzida, a tecnologia que foi usada, o produto que contém, a forma como o consumidor a utiliza e descarta e o tipo de destino final que lhe é dado (Martinho e Rodrigues, 2007). O Eco Design e o conceito de sustentabilidade introduziram alterações e inovações no que diz respeito às embalagens, reduzindo o seu peso ou volume, e utilização simultânea de materiais compatíveis ou um material único para facilitar o processo de reciclagem. Mas as responsabilidades em relação aos problemas vindos das embalagens não se devem limitar apenas às empresas que as fabricam, mas também aos consumidores, pois todas as atitudes e comportamentos de consumo são essenciais para reduzir o impacto destes produtos, e como tal é fundamental fomentar a sua reutilização após consumo ou depositá-los nos sistemas de deposição seletiva para serem conduzidos aos canais respetivos para a sua reciclagem (Martinho e Rodrigues, 2007).

### **2.1 Politereftalato de Etileno e Reciclagem**

PET (Politereftalato de Etileno) é uma resina de poliéster que se produz por um processo desenvolvido por Wallace H. Carothers (processo de policondensação). O PET é formado através da reação simultânea de dois monómeros (etilenoglicol e ácido tereftálico), ambos derivados do petróleo.

O PET é um dos polímeros mais utilizados em garrafas de água, refrigerantes, entre outros. Este material tem algumas propriedades características, tais como uma boa resistência mecânica, térmica e química, e apresenta boas propriedades de barreira e resistência ao choque, tendo por isso grande aplicação nas garrafas para líquidos (ver Tabela 1).

O PET é fácil de reciclar, sendo por isso extremamente valorizado por empresas que fazem a sua reciclagem, e como tal deverão ser encetadas um conjunto de iniciativas que permitam aumentar a percentagem da sua reciclagem que é ainda muito baixa em Portugal. Na empresa Ecoibéria - reciclados ibéricos, S.A., especializada na reciclagem de resíduos plásticos, única empresa nacional exportadora de flocos de PET para o mercado europeu e o resto do mundo,

a reciclagem de 2200 kg/hora permite assegurar a produção das devidas quantidades de matéria-prima secundária: 1350 kg/hora de flocos transparentes e azuis-claros de PET; 350 kg/hora de flocos de cor de PET; e 14.000 toneladas/ano são a estimativa de resíduos retirados do meio ambiente (ECOIBÉRIA, 2016).

Tabela 1 - Principais propriedades do PET (CES Edupack, 2016). Propriedades Gerais

Densidade	1,29e3 - 1,4e3 kg/m <sup>3</sup>
Composição	(CO-(C6H4)-CO-O-(CH2)2-O) <sub>n</sub>
Preço	1,33 - 1,62 Eur/kg
<b>Propriedades Mecânicas</b>	
Módulo de Young	2,76 - 4,14 GPa
Módulo ao corte	0,994 - 1,49 GPa
Coefficiente de Poisson	0,381 - 0,396
Tensão limite de elasticidade	56,5 - 62,3 MPa
Tensão de rotura	48,3 - 72,4 MPa
Resistência à compressão	19,7 - 31,9 MPa
Extensão após rotura	30 - 300 %
Dureza Vickers	17 - 18,7 HV
Resistência à fadiga, 10 <sup>7</sup> ciclos	19,3 - 29 MPa
Tenacidade à fratura	4,5 - 5,5 MPa.m <sup>0.5</sup>
<b>Propriedades Térmicas</b>	
Ponto de fusão	212 - 265 °C
Temperatura de transição vítrea	67,9 - 79,9 °C
Temperatura máxima de serviço	66,9 - 86,9 °C
Temperatura mínima de serviço	-123 - -73,2 °C
Temperatura de processamento	225-350 °C
Temperatura do molde	20-100 °C
Condutividade térmica	0,138 - 0,151 W/m. °C
Calor específico	1,42e3 - 1,47e3 J/kg. °C
<b>Propriedades Eco</b>	
Energia incorporada, produção primária	80,9 - 89,5 MJ/Kg
Pegada CO <sub>2</sub> , produção primária	3,76 - 4,15 kg/kg
Reciclável	sim

A reciclagem do PET pode ser realizada por métodos mecânicos, energéticos e químicos (Khoonkari et al., 2015). Na reciclagem de resíduos de embalagens PET, o processo mais utilizado é a reciclagem mecânica. Na reciclagem mecânica geram-se partículas com diferentes granulometrias. As mais finas, puras e transparentes são muito procuradas para a produção de novas garrafas, no entanto existem outras partículas com misturas de cores e maiores granulometrias que não são valorizadas.

## EXPERIMENTAÇÃO

A necessidade de diminuir o impacto ambiental proveniente do plástico levou ao aproveitamento dos seus desperdícios para a concretização de experiências e a construção de protótipos. O trabalho de investigação realizado possibilitou uma melhor compreensão acerca da reciclagem e a reutilização do termoplástico para o desenvolvimento de projetos de design. A metodologia adotada foi o método de experimentação da matéria-prima utilizando três formas diferentes para três casos de estudo. De seguida apresenta-se a matéria-prima selecionada.

## Matéria-prima

Os materiais utilizados na fase de experimentação e realização dos produtos foram: PET 2209 azul e verde, e PE/PP 6600/6660 (polietileno e polipropileno), apresentados na figura 1. Esta matéria-prima provem de embalagens de plástico reciclado pela Ecoibéria. Os granulados de PET azul e verde são o resultado da trituração de garrafas de água e de embalagens de refrigerantes, ambos com partículas de dimensão média de 1mm. As tampas dos mais variados recipientes plásticos são igualmente trituradas dando origem ao granulado PE/PP, com dimensões de partículas ligeiramente superiores às anteriores. Procurou-se, neste trabalho, manter as cores de origem do plástico no desenvolvimento dos novos produtos.



Fig. 1 - Matéria-prima.

## Processo

O procedimento experimental de cada um dos casos de estudos desenvolvidos passou por diversas etapas que serão apresentadas nas subsecções seguintes.

### (i)-Havaianas

O primeiro caso de estudo consistiu na criação de uma havaiana. O seu fabrico implicou a criação de vários moldes. Utilizaram-se moldes à base de gesso e de silicone, embora os produtos finais fossem produzidos com um molde de silicone.

O molde de gesso foi concebido através de uma havaiana comercial com marcas de utilização para que se obtivesse a marca da pegada no molde; essa marca serviu para reforçar o conceito de redução da pegada ecológica. As experiências realizadas com este molde continham a matéria-prima de PET ou PE/PP com o aditivo de silicone. Foram realizadas várias experiências com diferentes quantidades de material, algumas com maior quantidade de plástico e outras com menor quantidade. Para demonstração, na figura 2 (A1 e A2) foi adicionada uma maior quantidade de PE/PP (70%) e menor quantidade de silicone (30%). A maior quantidade de plástico torna o produto mais pesado (com uma espessura de 20mm), menos agradável e confortável para se caminhar. Ainda na figura 2 (B1 e B2) apresenta-se uma havaiana com maior quantidade de silicone (70%) e 30% de PE e com uma espessura de 15mm. Depois da sua secagem, observou-se que esta podia ser um bom ponto de partida para o fabrico de protótipos, mas ainda com a existência de alguns problemas, uma vez que as partículas podiam desprender-se e ferir quem as calça ou mesmo contribuir para aumentar a pegada ecológica, ficando ainda bastante pesadas.



Fig. 2 - A1) Parte inferior; A2) Parte superior; B1) Parte inferior; B2) Parte superior.

Numa fase seguinte, produziu-se um novo molde de silicone para que fosse possível resolver os problemas atrás mencionados. Na figura 3 (A, B, C, D, E) podem-se observar as principais etapas da sua fabricação. Para que se pudesse construir um molde feito em silicone, foi preciso modelar a peça que se pretendia num software 3D. Depois desta etapa, a peça foi construída pelo processo aditivo (figura 3, A) e para obter o modelo em forma de havaiana (figura 3, B) esperou-se aproximadamente três horas até que esta ficasse completa e se pudesse prosseguir à etapa seguinte. Para a realização dos protótipos finais foi necessário a construção de um molde em silicone (figura 3, C e D) e onde foram realizadas várias etapas: a construção de uma caixa para o vazamento do silicone; o vazamento do silicone; degaseificação na câmara de vácuo com o molde inclinado para evitar a formação de bolhas de ar; esperar à temperatura ambiente até que o molde secasse; e abertura do molde e extração da peça em 3D para a realização dos protótipos (figura 3, E).



Fig. 3 - A) Processo de fabrico aditivo em impressora de baixo custo; B) Modelo em PLA; C) Vazamento do Silicone; D) Câmara de vácuo com molde inclinado; E) Molde de Silicone.

O silicone utilizado para fazer o molde foi transparente, o que facilitou nas extrações dos modelos do seu interior e também no processo de execução das solas, onde foi utilizada uma borracha com pigmento. Com o molde em silicone foi possível vaziar a borracha com o pigmento e cura em mufla cerca de duas horas a uma temperatura de 80°C. As fases para a execução das havaianas finais foram idênticas às utilizadas com o molde de gesso, uma vez que a mistura é depositada sobre o molde; mas com a pré-colocação de uma sola.

## (ii)- Botões

O fabrico de botões teve como objetivo principal a concretização de processos operacionais capazes de amolecer, por aquecimento, a matéria-prima de PET e PE/PP. Desta forma,

procedeu-se à criação de peças através de um molde de aço (dividido em três partes) que foi carregado com as partículas do termoplástico e colocado numa mufla de tratamentos térmicos.

Inicialmente pesaram-se as partículas de termoplástico que foram introduzidas dentro do molde e prensadas manualmente (figura 4, A e B). O molde foi então colocado na mufla a diferentes temperaturas para determinar a temperatura de amolecimento do polímero mais adequada. Após um curto estágio a esta temperatura o molde foi retirado da mufla e ficou a arrefecer até à temperatura ambiente, sendo então a peça removida do seu interior (figura 4, C e D).



Fig. 4 - A) Introdução de partículas no molde metálico; B) Prensagem manual; C) Remoção da peça do seu interior; D) Ejeção da peça.

Todas as experiências foram realizadas com prensagem manual, com exceção da última experiência onde foram utilizados pesos de aço para obter uma prensagem com uma pressão de  $163 \text{ N/m}^2$  com o objetivo de avaliar o efeito da pressão na qualidade das peças obtidas. O tarugo obtido foi cortado em torno mecânico, estando na figura 5 representadas as peças obtidas com PET azul. A figura 6 (A e B) mostra os resultados da experiência com o PE/PP e o PET verde (tendo este sido obtido com pressão). A maioria destas experiências apresentou resultados satisfatórios, conseguindo-se manter as cores do plástico e o brilho similar ao granulado inicial, mas nem todos os granulados plastificaram na sua totalidade por falta de tempo na mufla, enquanto noutros casos geraram-se bolhas de ar. O processo foi várias vezes repetido até atingir o resultado pretendido, para que o plástico fundisse na sua totalidade e ficasse compacto. Houve uma constante preocupação com o controlo das temperaturas. As partículas, principalmente de PET, foram submetidas a um amolecimento lento e progressivo, enquanto as de PE/PP amoleciam com maior facilidade e em menor tempo.



Fig. 5 Resultados de duas experiências após o arrefecimento com PET Azul: A) Vista de topo; B) Vista frontal.



Fig. 6 - A) Resultados de experiências com PE/PP após o corte; B) Resultados de experiências com PET verde após o corte.

As experiências do PE/PP foram melhor sucedidas, resultado das várias cores das tampas das garrafas e anilhas, no entanto, em alguns casos também a pressão não foi suficiente para evitar a formação de bolhas de ar no seu interior. Refira-se no entanto que este molde não foi fabricado com o objetivo de obter peças desta forma e como tal, o fabrico de um novo molde permitirá resolver os problemas encontrados.

### (iii)-Colares

A atividade experimental para o processo de fabrico de colares teve como objetivo a concretização de processos operacionais capazes de amolecer, por aquecimento, o PET e o PE/PP. Existem diferenças no processo de aquecimento entre os botões e os colares, pois para a conceção dos colares foi necessária a utilização de um aditivo. Esse aditivo foi um biopolímero (PLA) que pode ser transformado de modo semelhante aos termoplásticos. Utilizou-se um púcaro e colocou-se a matéria-prima de termoplástico ainda durante o processo de aquecimento (aproximadamente 25 minutos), sendo a mistura vazada num molde de silicone com quadrados de 10 x 10 mm, e aplicando uma força de compressão, exercida até o arrefecimento à temperatura ambiente.

A figura 7 (A, B e C) apresenta o resultado de diversas experiências efetuadas. Todas elas utilizaram diferentes percentagens de plástico.

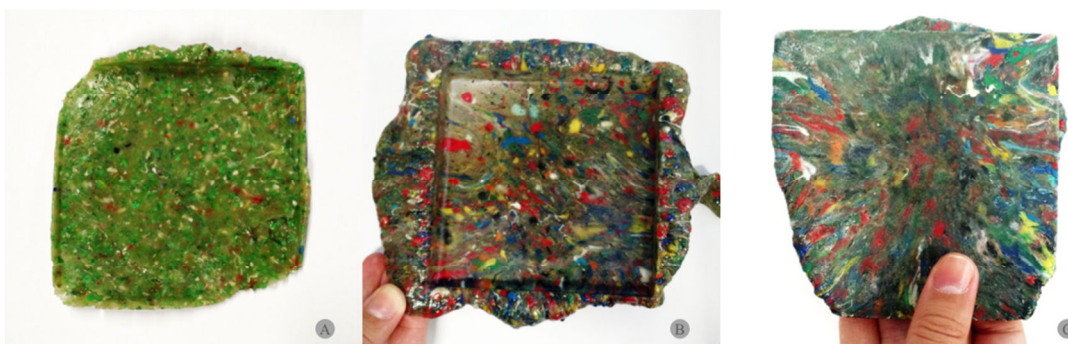


Fig. 7 - A) PET verde com PLA; B) e C) PE/PP com PLA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro caso de estudo, o granulado de PET e PE/PP foram misturados com silicone. Para evitar a queda de pequenos fragmentos utilizou-se uma borracha sintética na sola. A figura 8 (A1 e A2) ilustram os resultados realizados com granulado PET verde e (B1 e B2) os

resultados com o granulado de PE/PP. Na figura 9 (A e B) utilizou-se um fio de nylon torcido de cor azul e outro de cor amarelo para cada um dos produtos finais.



Fig. 8 - A1) Parte superior da havaiana; A2) superfície inferior; B1) Parte superior; B2) Parte inferior.



Fig. 9 - A) Protótipo de havaiana em PET; B) Protótipo de havaiana em PE/PP.

No segundo caso de estudo, o processo poderá ser melhorado com um controle de temperatura mais rigoroso no molde de aço onde as partículas de PET/PE/PP são aquecidas, permitindo que o material comece a fundir e seja pressionado no momento certo em que a temperatura lhe confere um grau de amolecimento ideal. O torno mecânico possibilitou o corte das peças dando a forma aos botões. Utilizou-se a máquina CNC para a marcação dos quatro furos nos botões. O diâmetro do botão verde tem 2 cm, com uma espessura de 3 mm, e o diâmetro dos furos tem 2 mm (figura 10, A). Os furos do botão com PE/PP têm um diâmetro de 1 mm e o botão um diâmetro de 1,5 mm, com uma espessura de 3mm (figura 10, B).



Fig- 10 - Protótipos de botões: A) Botão com PET Verde; B) Botão com PE reciclado; C) Tela reciclada com botões.



Os protótipos dos botões foram bem-sucedidos, dando possibilidade de criar novos produtos sem misturar vários materiais, facilitando assim também o processo de reciclagem. Criaram-se um conjunto de bolsas de vários tamanhos feitas com lona de cartazes de conferências onde se aplicaram os botões, contribuindo também para a redução do impacto ambiental (figura 10, C).

Os protótipos de colares foram obtidos por corte laser do material prensado numa máquina Speedy 300 Flexx da Trotec e uma máquina Gerber Sabre 408 CNC Router. A experiência apresentada na figura 7 (C), foi a que apresentou melhor resultado, dada a maior proporção de PE/PP na mistura do produto, facilitando o processo do corte. Nas experiências onde o PLA predominou, verificou-se alguma fusão no momento do corte. A figura 11 (A, B e C) mostra os resultados dos protótipos finais de colares.

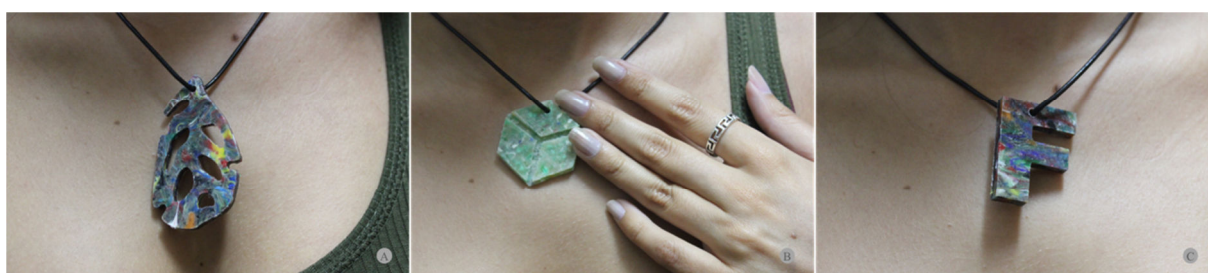


Fig. 11 - Protótipos de colares; A) Folha; B) Cubo; C) Letra F.

É de realçar que todos estes resultados surgiram no sentido de criar oportunidade de reutilização de um material reciclável, como é o plástico, e o seu uso na criação de novos produtos úteis e de qualidade estética, assentes numa atitude sustentável.

## CONCLUSÕES

O trabalho realizado resultou de uma reflexão sobre a problemática da poluição dos plásticos, nomeadamente do PE/PP e PET. O tema apresentado procurou estar ligado com a atualidade, considerando que o papel do design pode contribuir para a mudança da sociedade, nas preocupações ambientais e ecológicas, bem como em questões que possam valorizar o produto e todo o seu processo de fabrico. O plástico é um dos materiais mais preocupantes do lixo marinho, dada a sua persistência e fragmentação em pequenas dimensões. Perceber o papel do Design numa sociedade onde o consumo está em constante crescimento levou à criação de novos produtos através de material reciclado, dando um pequeno contributo para o ecossistema. Consideraram-se três casos de estudo: havaianas, botões e colares. O primeiro caso de estudo, havaianas, apresentou alguns problemas, como a queda de pequenos fragmentos e algum desconforto durante a sua utilização. No segundo caso de estudo, botões, não foram utilizados aditivos, podendo facilitar o seu processo de reciclagem. Os colares, terceiro caso de estudo, apesar de serem feitos com um aditivo, é um termoplástico biodegradável.

O trabalho realizado permitiu encontrar algumas alternativas para a utilização de matéria-prima proveniente da reciclagem de garrafas de bebidas, nomeadamente com a sigla PET. Utilizando uma matéria-prima que não tem valor comercial para as empresas de reciclagem, foi possível conceber objetos que podem potenciar a utilização deste material de uma forma sustentável.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia e Belas Artes da Universidade do Porto, à empresa Ecoibéria pelo suporte no fornecimento do material plástico PE/PP e PET, e ao financiamento do projeto do projeto NORTE-01-0145-FEDER-000022 - SciTech - Science and Technology for Competitive and Sustainable Industries, cofinanciado pelo Programa Operacional Regional do Norte (NORTE2020), através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

## REFERÊNCIAS

- [1]-APLM (Associação Portuguesa do Lixo Marinho)., Lixo Marinho, 2016, acedido em: <http://www.aplixomarinho.org/>.
- [2]-CES Edupack, 2016, Granta Design Limited, United Kingdom.
- [3]-ECOIBÉRIA (Reciclados Ibéricos, S.A.), 2016, acedido em: <http://www.ecoiberia.pt/>.
- [4]-Eriksen, M., Lebreton, L.C.M., Carson, H.S., Thiel, M., Moore, C.J., Borerro, J.C., Galgani, F., Ryan, P.G., & Reisser, J., Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea, Plos One, 9, 1-15, 2014.
- [5]-Khoonkari, M., Haghghi, A.H., Sefidbakht, Y., Shekoohi, K., & Ghaderian, A., Chemical Recycling of PET Wastes with Different Catalysts, International Journal of Polymer Science, Volume 2015, 11, 2015.
- [6]-Papanek, V., Arquitetura e Design. Ecologia e Ética. Edições 70, 1995.
- [7]-Martinho, M.G., Rodrigues, S.A., História da produção e reciclagem das embalagens em Portugal, Edição conjunta da Faculdade de ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e da Sociedade Ponto Verde, Lisboa, 2007.
- [8]-Sobral, P., Antunes, J., Ferraz, M., Ferro, F., Frias, J., Raposo, I.P., Quaresma, S., Louro, P., Oliveira, M., Lixo Marinho: um problema sem fronteiras. Parceria Portuguesa para o Lixo Marinho, Monte da Caparica, Portugal, 2015.
- [9]-Spinacé, M.A.S., Paoli, M.A., A tecnologia da reciclagem de polímeros, Química Nova, Vol.28, No. 1, 65-72, 2005.
- [10]-Wilcox, C., Mallos, N.J., Leonard, G.H., Rodriguez, A., & Hardesty, B.D., Using Expert Elicitation to Estimate the Impacts of Plastic Pollution on Marine Wildlife, Marine Policy, 65 107-114, 2016.