

## **PROJETO**

**Projeto de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção  
Industrial**

# **Produção de alcatruzes em material polimérico biodegradável**

**Cátia Sofia Pereira Gomes**

**Leiria, Março de 2017**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*



## **PROJETO**

**Projeto de Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial**

# **Produção de alcatruzes em material polimérico biodegradável**

**Cátia Sofia Pereira Gomes**

Licenciada em Engenharia de Gestão Industrial

Mestre em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacional

O presente projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica – Ramo de Produção Industrial. O Trabalho foi realizado sob a orientação do Doutor Carlos Capela, docente na mesma instituição.

**Leiria, Março de 2017**

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## Agradecimentos

Este projeto representa a conclusão de um ciclo, o fim de uma fase que foi muito exigente a vários níveis: emocional, psicológico e às vezes até físico. Nunca no meu percurso escolar tinha sentido o peso de ser trabalhadora estudante, pelo que hoje dou muito mais significado a este "estatuto", a dedicação que está implícita é muito superior e dá-nos um maior discernimento na seleção do que é essencial e supérfluo.

Mas tive sorte, muita sorte! Estive sempre rodeada das melhores pessoas e se chego ao fim é a elas que o devo! Sozinha? Nunca conseguiria...

Agradeço por isso ao meu marido que nunca em momento algum me exigiu mais do que aquilo que eu podia dar, compreensivo com as minhas ausências e indisponibilidade! Foi um desafio ultrapassado a dois, uma adaptação que ele conseguiu tornar mais fácil. Os meus pais também foram pilares essenciais em todo este processo, ajudando em tudo o que podiam, aliviando o "peso" que todo este percurso me trouxe. Assim como agradeço ao meu irmão, que com a sua objetividade e assertividade me disse várias vezes: "delineaste este objetivo, sabes que custa, mas segue-o" e às vezes só precisamos destas palavras para ter o "empurrão" que precisamos.

Mas não foi só no seio familiar que encontrei quem precisava, ao longo destes três anos cruzei-me com pessoas genuínas e "amigas do seu amigo", quer fosse em trabalhos de grupo, quer fosse em longas horas de estudo, recebi sempre um "sim ajudo-te"! Caros colegas: obrigada!

Uma palavra de agradecimento também à Bernardo e Simões, Lda, que me deu a oportunidade de desenvolver este Projeto, disponibilizando-me todos os meios necessários e demonstrando sempre uma grande preocupação com o desenrolar do meu percurso ao longo destes três anos. Tive sempre uma palavra de compreensão, apoio e disponibilidade.

Por último, mas não menos importante agradeço ao meu orientador Doutor Carlos Capela, sempre presente ao longo do desenvolvimento deste trabalho, com uma preocupação constante e um acompanhamento de perto de tudo o que foi sendo feito. Agradeço-lhe por todas as palavras, orientações e disponibilidade, nunca em momento algum me deixou sem resposta e isso foi fundamental para a apresentação deste trabalho.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## Resumo

A poluição dos oceanos é um tema em constante desenvolvimento, não só devido a uma maior consciencialização das suas consequências futuras como também pelo aparecimento de legislação cada vez mais restritiva no que se refere à proteção do meio ambiente.

Os pescadores têm um papel fundamental em todo este processo, garantindo que a utilização dos recursos que o mar lhes oferece é feita de forma sustentável. É com base neste princípio que se desenvolveu o trabalho que se apresenta, tendo-se efetuado um estudo da utilização de materiais poliméricos biodegradáveis para a produção de alcatruzes.

Os alcatruzes são armadilhas usadas pelos pescadores para realizar a apanha do polvo em alto mar. Geralmente, são produzidos em Polietileno de Alta Densidade, ou seja devido ao seu fabrico com recurso a esta matéria-prima são considerados objetos poluentes e é aqui que surge a necessidade de serem encontradas alternativas viáveis para a produção de alcatruzes com matérias-primas biodegradáveis.

O presente trabalho apresenta as conclusões dos efeitos da degradação da água do mar em três matérias-primas biodegradáveis distintas: dois aditivos oxo-biodegradáveis e um bioplástico, comparando os resultados obtidos com a degradação observada em provetes produzidos em Polietileno de Alta Densidade. Para isso foram realizados ensaios de tração, flexão em três pontos e estudados os efeitos da absorção de água nos materiais.

Pretende-se assim, que o estudo efetuado consiga dar uma resposta aos pescadores no sentido de perceberem se a substituição do Polietileno de Alta Densidade por outros materiais mais "amigos do ambiente" é ou não viável e se compromete a funcionalidade e qualidade que pretendem nos alcatruzes, pois acredita-se que em breve se poderá verificar o aparecimento de legislação a impedir o uso de matérias-primas poluentes.

**Palavras-chave:** alcatruzes, materiais biodegradáveis, polietileno de alta densidade, degradação de polímeros em água do mar.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## Abstract

The oceans pollution has been a thriving theme in the current days, not only because of a bigger awareness of its consequences, but also because of the emergence of new and more restrictive laws regarding the protection of the environment.

Fishermen have an essential part in all this process, assuring that the resources that the sea provides are used in a sustainable way. It's based on this principle that this paper was developed, through a study using biodegradable polymeric materials for the production of octopus pots.

The octopus pots are a kind of trap used by fishermen, which are placed in high sea and left there so the octopus can stay there. Normally this kind of trap is produced in High Density Polyethylene, meaning they are considered polluting objects and is because of this that the necessity of finding new viable alternatives for the production of octopus pots with biodegradable raw materials appears.

This paper will show the conclusions withdrawn of the effects of the degradation of the sea water in three different biodegradable raw materials: two oxo-biodegradable materials and one bioplastic, comparing the obtained results with the degree of degradation observed in High Density Polyethylene samples. To ensure this, traction, flexion in three points and the effects of the water absorption in the materials were tested.

This study is therefore intended to provide a sustainable answer to the fishermen, in order to understand if the replacement of High Density Polyethylene for other eco friendly materials is a sustainable option and if this change will compromise the functionality and quality of the octopus pots, because it's believed that soon may appear new laws forbidding the use of polluting raw materials.

**Key words:** octopus pots, biodegradable materials, high density polyethylene, polymers degradation in sea water.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## Índice de figuras

Figura 1 - Pesca do polvo com alcatruz. ....	2
Figura 2- Alcatruz produzido pela Bernardo e Simões, em PEAD.....	4
Figura 3- Estrutura do volume de capturas nominais de pescado fresco ou refrigerado por espécie (2014-2015). (INE, 2016).....	8
Figura 4- Representação da unidade repetitiva do polietileno.....	9
Figura 5- Representação da cadeia molecular do PEAD .....	9
Figura 6 - Curva típica do ensaio de tração; $\epsilon$ - extensão; $\sigma$ - tensão [MPa]; .....	14
Figura 7- Representação esquemática do ensaio de flexão.....	16
Figura 8 - Ciclo de moldação. Adaptado (Inovation, 2017).....	19
Figura 9 - Esquemática de máquina de moldação por sopra.....	20
Figura 10 - Balança hidrostática utilizada para determinação das densidades dos materiais processados. ....	22
Figura 11- Balança com equipamento específico utilizado para determinação da densidade dos materiais. ....	23
Figura 12 - Estufa utilizada para retirar a humidade das amostras, nos ensaios de absorção.....	25
Figura 13- Amostras colocadas em água do mar. ....	25
Figura 14 - Amostras dos diferentes materiais utilizados nos ensaios de absorção. ....	25
Figura 15 - Pesagem de amostras nos ensaios de absorção de água. ....	26
Figura 16- Máquina eletromecânica Zwick/Z100, adaptada ao ensaio de flexão.....	27
Figura 17- Ensaio de flexão a três pontos.....	27
Figura 18- Fotografia do provete usado nos ensaios de flexão. ....	27
Figura 19- Esquemática do provete utilizado para os ensaios de flexão. ....	28
Figura 20- Máquina eletromecânica Zwick/Z100, adaptada ao ensaio de flexão.....	28
Figura 21 - Ensaio de tração.....	29
Figura 22- Fotografia do provete utilizado para os ensaios à tração. ....	29
Figura 23- Esquemática do provete utilizado para os ensaios de tração. ....	29
Figura 24- Valores densidade obtidos para diferentes materiais processados e ensaiados mecanicamente. ....	31

Figura 25 - Percentagem de absorção de água <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar. ....	32
Figura 26 – Curvas típicas de variação de $M_t/M_\infty$ <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar. ....	33
Figura 27- Curva típica de tensão máxima à flexão <i>versus</i> deslocamento, para 0 dias de imersão em água do mar. ....	34
Figura 28- Curvas típicas de tensão à flexão em 3 pontos <i>versus</i> deslocamento, para Tempos de imersão em água 105dias. ....	35
Figura 29- Valores de tensão máxima à flexão em três pontos <i>versus</i> tempo de imersão em água para o PEAD reciclado. ....	36
Figura 30- Valores de tensão máxima à flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o aditivo 93283. ....	37
Figura 31-Valores de tensão máxima à flexão em três pontos <i>versus</i> tempo de imersão em água para o material DG 22-08. ....	37
Figura 32- Valores de tensão máxima à flexão em três pontos <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex 5710. ....	38
Figura 33 - Valores de módulo de elasticidade à flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o PEAD reciclado. ....	38
Figura 34- Valores de módulo de elasticidade <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o aditivo 93283. ....	39
Figura 35- Valores de módulo de elasticidade à flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o aditivo DG 22-08. ....	39
Figura 36 - Valores de módulo de elasticidade à flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex5710. ....	40
Figura 37- Valores de tensão máxima em flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água, para os vários materiais testados- ....	45
Figura 38- Valores módulo de elasticidade em flexão <i>versus</i> tempo de imersão em água, para os vários materiais testados. ....	46
Figura 39- Curvas típicas $\sigma_{\text{máx.tração}}$ <i>versus</i> extensão, para 0 dias de imersão em água do mar. ....	47
Figura 40- $\sigma_{\text{tração}}$ <i>versus</i> extensão para 105 dias de imersão em água do mar. ....	48
Figura 41 - Valores de $\sigma_{\text{máx.tração}}$ <i>versus</i> tempo de imersão em água do mar para o material PEAD reciclado. ....	49

Figura 42- $\sigma_{\text{máx.tração}}$ versus tempo de imersão em água do mar para o PEAD com aditivo 93283. ....	49
Figura 43- $\sigma_{\text{máx.tração}}$ versus tempo de imersão em água para o aditivo DG 12-08. ....	50
Figura 44- $\sigma_{\text{máx.tração}}$ versus tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex 5710 .....	50
Figura 45- $E_{\text{tração}}$ versus tempo de imersão em água do mar para o PEAD reciclado..	51
Figura 46- $E_{\text{tração}}$ versus tempo de imersão em água para o aditivo 93283. ....	51
Figura 47- $E_{\text{tração}}$ versus tempo de imersão em água para o aditivo DG 12-08. ....	52
Figura 48- Valores de módulo de elasticidade em tração versus tempo de imersão em água para o material BioFlex 5710. ....	52
Figura 49 - Valores tensão máxima em tração versus tempo de imersão em água, para os vários materiais testados.....	57
Figura 50- Valores módulo de elasticidade em flexão versus tempo de imersão em água, para os vários materiais testados.....	58

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## Índice de tabelas

Tabela 1- Equações da reta da regressão linear aplicada às curvas de absorção. ....	33
Tabela 2- Valores de tensão máxima em flexão e valores de módulo de elasticidade, para 0 dias de imersão em água do mar. ....	34
Tabela 3- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 105 dias de emersão em água do mar. ....	35
Tabela 4- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 8 dias de emersão em água do mar. ....	40
Tabela 5- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 15 dias de emersão em água do mar. ....	41
Tabela 6- $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ e de $E_{\text{flexão}}$ para 71 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 30 dias para os restantes materiais. ....	42
Tabela 7- Valores de $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ e de $E_{\text{flexão}}$ para 99 dias de tempo de em água do mar para o PEAD reciclado e de 131 dias para os restantes materiais. ....	42
Tabela 8- Valores de $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ e de $E_{\text{flexão}}$ para 113 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 143 dias para os restantes materiais. ....	43
Tabela 9- Valores de $\sigma_{\text{flexão}}$ e $E_{\text{flexão}}$ para 300 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 150 dias para os restantes materiais. ....	44
Tabela 10 - Valores de $\sigma_{\text{flexão}}$ e $E_{\text{flexão}}$ para 115 dias. ....	44
Tabela 11- Valores de tensão máxima em tração e valores de módulo de elasticidade, para 0 dias de imersão em água do mar. ....	47
Tabela 12 $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ , para 105 dias de tempo de imersão em água do mar. ....	48
Tabela 13- $\sigma_{\text{máx.tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ , para 8 dias de imersão em água do mar. ....	53
Tabela 14- $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ , para 15 dias de imersão em água do mar. ....	53
Tabela 15- $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ para 71 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 30 dias para os restantes materiais. ....	54
Tabela 16- $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ para 113 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 131 dias para os restantes materiais. ....	54
Tabela 17- $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ para 143 dias de imersão em água do mar para os restantes materiais. ....	55

Tabela 18 - $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ para 300 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 150 dias para os restantes materiais. ....	56
Tabela 19- $\sigma_{\text{tração}}$ e $E_{\text{tração}}$ para 115 dias de exposição solar.....	56
Tabela 20- Características dos materiais estudados na simulação em SolidWorks®..	60
Tabela 21- Resultados obtidos para as simulações de 0, 113 e 300 dias para o PEAD reciclado (F = 130 N). ....	61
Tabela 22- Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com aditivo 93283 (F = 130 N). ....	62
Tabela 23 - Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com aditivo DG 12-08 (F = 130 N).....	63
Tabela 24- Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com material biodegradável BioFlex 5710 (F = 130 N). ....	64

## Lista de siglas

PEAD	Polietileno de Alta Densidade
$\sigma$	Tensão
E	Módulo de <i>Young</i>
PE	Polietileno
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
OWS	Organic Waste System
SI	Sistema Internacional

# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>v</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de tabelas</b> .....	<b>xv</b>
<b>Lista de siglas</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Índice</b> .....	<b>xviii</b>
<b>Capítulo 1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Nota Preambular .....	2
1.2 Motivação para o Tema .....	3
1.2.1 Apresentação da Empresa .....	3
1.3 Objetivos e Metodologia .....	4
1.4 Estrutura.....	4
<b>Capítulo 2 Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>6</b>
2.1 Pesca do Polvo.....	7
2.2 Polímeros e Plásticos .....	8
2.2.1 Caracterização de materiais .....	9
2.2.2 Ensaio Mecânicos em Plásticos.....	13
2.2.3 Degradação de Plásticos.....	18
2.3 Moldação por Sopro .....	18
2.3.1 Descrição do processo .....	19
<b>Capítulo 3 Materiais e Procedimentos Experimentais</b> .....	<b>21</b>
3.1 Materiais testados.....	22
3.2 Densidade .....	22
3.3 Absorção de água do mar.....	24
3.4 Ensaio de Flexão a três pontos.....	26

3.5	Ensaio de tração.....	28
<b>Capítulo 4 Apresentação e Discussão de Resultados .....</b>		<b>30</b>
4.1	Propriedades dos Polímeros.....	31
4.1.1	Densidade .....	31
4.1.2	Ensaio de absorção com água do mar.....	31
4.2	Propriedades Mecânicas dos Polímeros processados.....	34
4.2.1	Ensaio de Flexão .....	34
4.2.2	Tração .....	46
<b>Capítulo 5 Caso de Estudo .....</b>		<b>59</b>
5.1	Resultados obtidos para o PEAD reciclado.....	61
5.2	Resultados obtidos para PEAD com aditivo 93283.....	62
5.3	Resultados obtidos para PEAD com aditivo DG 12-08 .....	63
5.4	Resultados obtidos para o material biodegradável BioFlex 5710 .....	64
<b>Capítulo 6 Conclusão .....</b>		<b>65</b>
6.1	Conclusões.....	66
6.2	Trabalhos futuros.....	68
<b>Referências bibliográficas .....</b>		<b>69</b>
<b>Anexos.....</b>		<b>74</b>
Anexo A	Fichas Técnicas Materiais .....	75
Anexo B	Relatório da Simulação SolidWorks® .....	76

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

# **Capítulo 1    Introdução**

## 1.1 Nota Preambular

A consciencialização de que a poluição tem consequências graves e de que os comportamentos de risco podem pôr em causa a disponibilidade de recursos a longo prazo, tem levado a que cada vez mais se procurem respostas sustentáveis e "amigas do ambiente". Se pensarmos que um copo de plástico demora 50 anos a decompor-se no mar e uma garrafa de plástico pode demorar até 450 anos (Açores, 2004), repensamos atitudes e aguça-se assim a necessidade de procurar alternativas, nomeadamente a utilização de materiais biodegradáveis.

Sendo o mar o local de trabalho dos pescadores, torna-se essencial que as suas atitudes sejam ecológicas e para que não contribuam para um aumento da poluição e degradação do meio aquático, nomeadamente nos processos de captura de pescado.

Atualmente, o método mais usado para realizar a apanha do polvo recorre à utilização de alcatruzes produzidos em matérias-primas plásticas, nomeadamente o Polietileno de Alta Densidade ou seja materiais não biodegradáveis e considerados poluentes. Os alcatruzes podem permanecer vários meses no mar, sendo fixos ao fundo do mar com a ajuda de cordas, tal como se pode ver pela **Figura 1** e baseiam-se no princípio de que o polvo vive dentro deles. Geralmente são utilizados várias vezes, uma vez que de tempos a tempos são içados do mar, é retirado o polvo do seu interior, e são novamente colocados dentro do mar. É neste ciclo que os alcatruzes se podem soltar da corda e ficar à deriva no mar, podendo também ser empurrados até às praias pelas correntes marítimas, poluindo também a costa marítima.

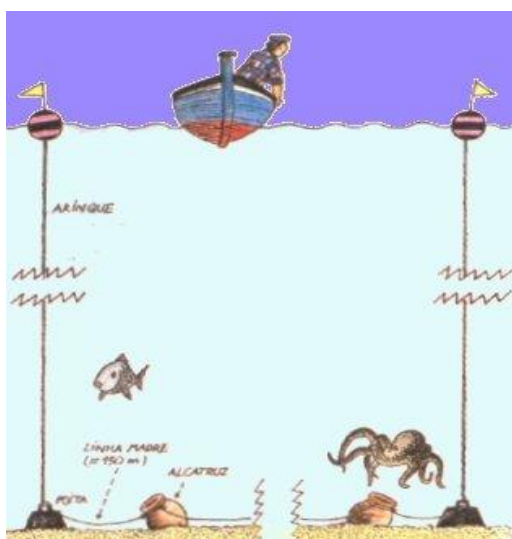


Figura 1 - Pesca do polvo com alcatruz.

## **1.2 Motivação para o Tema**

As empresas produtoras de embalagens plásticas, cujo processo produtivo é a moldação por sopro são fornecedoras de alcatruzes em plástico para os pescadores, pelo que vão conhecendo quais as suas preocupações e vão ao encontro das suas necessidades. A autora do presente trabalho, como colaboradora de uma empresa deste ramo, apercebeu-se que seria de especial interesse encontrar materiais alternativos aos usados atualmente de forma a tornar o alcatruz não poluente, produzindo-o em materiais biodegradáveis.

Porém, a utilização de materiais biodegradáveis exige que seja efetuado um estudo detalhado do comportamento destes materiais imersos no mar ao longo do tempo, analisando e verificando se a funcionalidade e qualidade da peça não é colocada em questão. De notar que os pescadores são clientes bastantes exigentes com os parâmetros de qualidade, principalmente no que respeita à reutilização do alcatruz, ou seja, o pescador pretende sempre que o alcatruz permaneça o maior tempo possível dentro do mar, de forma a maximizar a rentabilidade do investimento no alcatruz e mantendo as suas características de durabilidade.

É desta necessidade de adaptação aos mercados e de resposta às exigências dos clientes que levou a que fosse efetuado o presente estudo. De notar que não são conhecidos produtos alternativos aos já utilizados e acredita-se que brevemente irá ser publicada legislação europeia e nacional a proibir a utilização de peças plásticas em alto mar.

### **1.2.1 Apresentação da Empresa**

A Bernardo & Simões, Lda. foi criada em 1981 e é uma empresa especializada na produção e comercialização de embalagens plásticas e outros artigos em plástico. Através da experiência acumulada ao longo de quase três décadas de existência, aliada a uma equipa de colaboradores de excelência e a uma forte política de desenvolvimento sustentável, a Bernardo & Simões transforma, por via de processos de extrusão, insuflação e injeção, polímeros como o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), o Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), o Policloreto de Vinilo (PVC) e o Polipropileno (PP), em diversos artigos de plástico criados a pensar nos mais variados fins.

A principal área de negócio da Bernardo & Simões está na produção de embalagens pequenas, com capacidades entre os 10 mL e os 5 L, cujos principais clientes são da indústria química, alimentar e farmacêutica. Paralelamente, como

forma de complementar a atividade principal e tendo em vista a total satisfação das necessidades dos clientes, a Bernardo & Simões oferece ainda outro tipo de serviços, de que são exemplo a serigrafia, a rotulagem e apoio ao desenvolvimento de projeto e conceção de moldes para plásticos. (Bernardo e Simões, 2009)

O alcatruz (Figura 2) é uma das principais peças comercializadas pela Bernardo e Simões, Lda., representando cerca de 10% da faturação da Empresa. Considera-se assim uma peça de grande importância, dado que o leque de produtos é bastante elevado. De referir também que é um dos artigos com maior margem de lucro, pelo que existe todo o interesse em dar resposta às presentes e futuras necessidades dos clientes que adquirem este produto.



**Figura 2- Alcatruz produzido pela Bernardo e Simões, em PEAD.**

### **1.3 Objetivos e Metodologia**

O objetivo do presente trabalho consistiu processar, caracterizar fisicamente e mecanicamente diferentes materiais biodegradáveis em função do tempo de imersão água do mar. Foram realizados ensaios de absorção de água, ensaios estáticos de variação da resistência mecânica e de módulo *versus* tempo de imersão em água do mar.

### **1.4 Estrutura**

O presente estudo é apresentado sob a forma de vários capítulos, onde primeiramente se faz uma revisão bibliográfica dos conceitos, procedimentos e materiais disponíveis, trata-se do enquadramento do estudo. Depois procura-se especificar o tipo de materiais que foram objeto de estudo, assim como a definição dos métodos experimentais utilizados.

Posteriormente são apresentados e discutidos os resultados obtidos ao longo dos ensaios efetuados, apresentando-se de forma detalhada através de tabelas e gráficos os valores obtidos para que assim se faça uma análise e possam ser apresentadas as conclusões no último capítulo. Como forma de complemento do trabalho, foi realizado um Estudo de Caso que permitiu, através de moldação 3D a visualização das alterações que o alcatruz sofre ao longo do tempo quando é manuseado.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

## **Capítulo 2    Revisão Bibliográfica**

## 2.1 Pesca do Polvo

Portugal caracteriza-se por ter uma costa extensa e com condições favoráveis para o desenvolvimento da atividade piscatória. Esta atividade desenvolve-se quase exclusivamente até às 6 milhas da zona costeira, onde os principais recursos explorados são os pequenos pelágios, como a sardinha, o carapau e a cavala, mas ao nível económico o polvo, a pescada, a gamba e o choco assumem maior importância (DGRM, 2017).

A pesca do polvo representa assim um recurso de elevado interesse para os pescadores, principalmente os que praticam a pequena pesca sendo que esta ocorre em profundidades relativamente baixas na ordem dos 200 m (Teixeira, 2013).

A espécie de polvo mais comum na costa portuguesa é a *Octopus vulgaris* e existe ao longo de toda a sua extensão, desde as zonas rochosas até profundidades superiores a 150 m. É uma espécie marinha com uma baixa longevidade, entre os 9 e os 18 meses de vida, dependendo das condições da água nomeadamente a temperatura da água, que por sua vez têm influência no seu rápido crescimento (Teixeira, 2013).

A atividade de pesca do polvo caracteriza-se por uma forte sazonalidade ao longo do ano, dependo de variáveis como a fase de reprodução uma vez que após este período todos os adultos morrem, das condições ambientais tais como a temperatura e salinidade/pluviosidade da água e a intensidade das pescas. (Teixeira, 2013)

Em 2015, registou-se um acréscimo de 5,6% em relação a 2014 na produção da pesca nacional (Figura 3) tendo sido capturadas cerca de 194 164 toneladas de pescado. Especificamente para os moluscos verificou-se um aumento do volume de capturas, na ordem dos 3,6%, mas dado que a pesca do polvo tem uma forte influência no grupo e a disponibilidade desta espécie foi substancialmente inferior em 2015 (-28,0%), acaba por corresponder a um valor de -4% no valor global das pescas. (INE, 2016)

Em conclusão, no ano de 2015 capturaram-se 7 692 t de polvo (INE, 2016) e dado o seu valor de mercado, representa assim uma espécie de elevado interesse para os pescadores, que continuam a procurar no mercado respostas às suas necessidades e armadilhas de qualidade que garantam um trabalho eficaz.

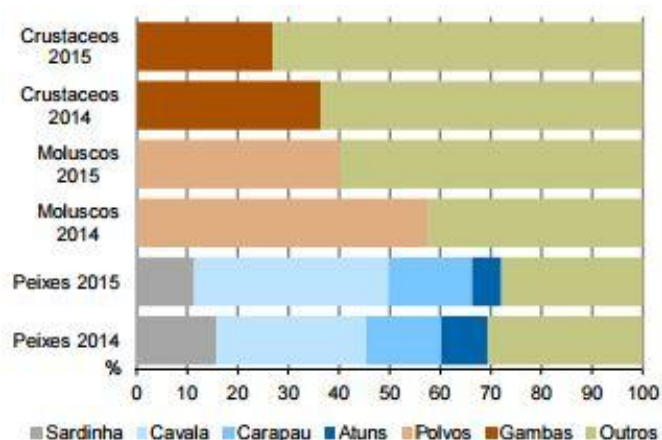


Figura 3- Estrutura do volume de capturas nominais de pescado fresco ou refrigerado por espécie (2014-2015). (INE, 2016)

## 2.2 Polímeros e Plásticos

Facilmente se interliga o conceito de polímero com o conceito de plástico, no entanto existem aspetos que os diferenciam. Um polímero é uma macromolécula constituída por unidades estruturais repetitivas, unidas entre si por ligações covalentes (Pouzada, 1983). Por sua vez o termo "plástico" tem a sua origem no grego "*plastikos*" que significa "moldável", sendo por isso uma característica intrínseca a estes materiais quando sujeitos a variações de pressão e temperatura, sendo igualmente constituídos por macromoléculas sintéticas. São de origem orgânica e podem ser classificados em dois grupos distintos (Roman, 1995):

- Termoendurecíveis: são plásticos que não permitem o reprocessamento ou a sua polimerização é consequência de uma reação química irreversível não podendo ser fundidos novamente. Um exemplo deste tipo de plástico é a resina epóxi.
- Termoplásticos: estes materiais podem ser fundidos e endurecidos inúmeras vezes, não obstante ao facto de cada vez que são reprocessados vão perdendo propriedades químicas e físicas. Neste grupo temos por exemplo o polietileno de alta densidade, que será o principal enfoque do presente estudo.

Na prática, a diferença entre polímeros e plásticos reside essencialmente no facto de estes últimos terem presentes na sua constituição impurezas que poderão ser

de origem ocasional ou não, e aditivos. Estas são substâncias que se incorporam propositadamente nos polímeros de maneira a alterar as suas propriedades. Trata-se então, de um processo necessário uma vez que os polímeros dificilmente podem ser utilizados isoladamente de outras substâncias para produzir artigos de consumo final, pois a sua instabilidade aos agentes atmosféricos, baixa resistência mecânica e alta inflamabilidade tornam-nos bastante limitados (Pouzada, 1983).

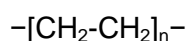
Os plásticos têm sem sombra de dúvida uma presença muito acentuada no quotidiano das pessoas, estando presentes de várias formas e representam um sector industrial muito importante a nível mundial.

## **2.2.1 Caracterização de materiais**

### **2.2.1.1 Polietileno de Alta Densidade**

Historicamente, a produção de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) foi a primeira a iniciar-se comercialmente (fins da década 30), posteriormente foi o polietileno de alta densidade (PEAD) no ano de 1954 e por fim o polipropileno, em 1957. Este conjunto de termoplásticos representavam só por si cerca de metade do total consumido mundialmente (Pouzada, 1983).

O polietileno consegue obter-se através da polimerização do etileno na presença de catalisadores cuja reação se dá em condições de temperatura e pressão relativamente baixas e de forma controlada. A sua unidade repetitiva (Figura 4) é constituída por dois átomos de carbono e quatro de hidrogénio (Pouzada, 1983):



**Figura 4- Representação da unidade repetitiva do polietileno**

As macromoléculas deste polímero são altamente lineares (Figura 5), praticamente isentas de ramificações, fazendo assim com que o PEAD seja o mais denso das poliolefinas, apresenta uma excelente química e as suas propriedades mecânicas dependem fortemente das condições de processamento.

As aplicações do PEAD são diversas, porém o maior campo de aplicação é a moldação por sopro pois apresenta boas propriedades mecânicas em tração, no entanto também é muito utilizado na extrusão e moldagem por injeção.



**Figura 5- Representação da cadeia molecular do PEAD**

### 2.2.1.2 Plásticos oxo-biodegradáveis

O Polietileno é conhecido pela sua difícil degradação no meio ambiente, considerado muitas vezes como um grande poluente, tanto no meio terrestre como no meio aquático. Assim, há mais de 30 anos surgiu uma nova técnica que através de tratamentos de pré-envelhecimento e com a adição de aditivos pró-degradantes promovem a degradação mais acelerada do PE (Chiellini, et al., 2008).

Os materiais oxo-biodegradáveis caracterizam-se assim por serem polímeros de origem fóssil, aos quais é adicionado um aditivo catalisador no processo de degradação por via da oxidação das cadeias moleculares (Demoustier - Manutenção e Conservação, 2016). Em consequência, o material perde as suas propriedades mecânicas, o que o leva a que este se desintegre em fragmentos pequenos sendo que o processo de oxidação é realizado de maneira a que estes possam ser vulneráveis aos ataques microbianos e integrados no meio ambiente. (Fontanella, et al., 2010).

Estas características, permitem que sejam solucionadas questões relacionadas, por exemplo, com a poluição visual provocada pelos materiais plásticos, no entanto estão ainda em fase de desenvolvimento vários estudos para provar que os materiais oxo-biodegradáveis podem efetivamente ser dissolvidos pelo meio ambiente, sem serem evasivos e acima de tudo poderem entrar na cadeia de reciclagem de plásticos sem contaminar os outros materiais.

Numa outra perspetiva, dada pela *Oxo-Biodegradable Plastic Association*, "os plásticos oxo-biodegradáveis não contribuem para a poluição" dado que após iniciado o processo de oxidação, tornam-se tão biodegradáveis como qualquer outra matéria orgânica em diferentes ambientes como chuva, luz solar, vento, meio marítimo, entre outros e de uma forma sinérgica com os microrganismos. (ASSOCIATION, 2012)

### 2.2.1.3 Bioplásticos biodegradáveis

Segundo a definição publicada pela *ASTM* um plástico biodegradável é um plástico no qual a degradação resulta da ação de microrganismos como bactérias, fungos e algas. (ASTM, 1999).

Importa também referir que a Norma Europeia EN 13432 considera que o material é biodegradável se no prazo de 6 meses atingir 90% do valor obtido pela referência de celulose, sendo que para a obtenção destes valores é necessário recorrer a testes definidos pela norma EN 14046 e ISO 14855.

Pode então dizer-se que um plástico biodegradável tem de se degradar através dos microrganismos presentes no meio ambiente (englobando também os meios aquáticos), sendo que este não tem de ser produzido especificamente em material biológico, podendo por isso ser produzido a partir do petróleo (Europe, 2016). Porém para serem considerados bioplásticos têm de ter obrigatoriamente a sua origem em recursos biológicos. Assim o termo bioplástico refere-se essencialmente à origem da matéria-prima, enquanto o conceito biodegradável está relacionado com o seu fim de vida. Pode assim verificar-se que um plástico com base biológica pode não ser biodegradável, assim como um plástico biodegradável pode não ser bio baseado (PlasticsEurope, 2017).

Uma das principais críticas direcionadas aos bioplásticos biodegradáveis centra-se precisamente no facto de serem utilizados recursos agrícolas e biológicas para a produção de matérias plásticas, ou seja, utilizam-se recursos importantes para a produção de alimentos em prol de matéria-prima para indústria. No entanto, um estudo publicado pela "European Bioplastics" afirma que se utilizaria penas 0,006% da área da superfície agrícola mundial para produção de matéria-prima suficiente para todos os bioplásticos (Agrobiofilm, 2013).

### **Vantagens e desvantagem dos materiais oxo-biodegradáveis e biodegradáveis**

Num estudo publicado pela *Organic Waste Systems* (OWS) em 2013, cujo objetivo foi perceber e sintetizar as principais vantagens e desvantagens dos materiais biodegradáveis e oxo-biodegradáveis, podem verificar-se as seguintes conclusões para os materiais biodegradáveis (Deconinck, et al., 2013):

- a maioria satisfaz os padrões industriais de compostagem;
- provas sólidas de biodegradação certificada por laboratórios credenciados;
- com base nas suas matérias-primas podem dividir-se em cinco categorias: à base de celulose, à base de amido, sintetizados quimicamente, produzido por bactérias e à base de produtos fósseis.
- As normas sobre as especificações estão bem estabelecidas para a compostagem industrial, mas menos desenvolvidos para a compostagem doméstica e biodegradação em outros ambientes.

- O processo de biodegradação dá-se através da atividade biológica, mais precisamente através da atividade enzimática, microbiana e/ou atividade fúngica.

Para os materiais oxo-biodegradáveis, verificaram-se as seguintes conclusões:

- Os materiais oxo-biodegradáveis não respeitam os parâmetros de compostagem, tanto em ambiente industrial como em ambiente doméstico (segundo o a *Oxo-biodegradable Plastics Association* estes não foram concebidos com esse objetivo);
- Alguns plásticos convencionais são aditivados com metais pesados;
- Desde 2009 houve um aumento de normas e guias, no entanto não se encontra consistência entre eles;
- A biodegradação inicia-se pela presença de oxigénio, no entanto é inibida pela presença de humidade e acelerada pelos raios UV e calor;
- Resultados baixos de biodegradação;
- Diferentes Institutos de Certificação, mas pouco claros quanto à sua independência.

### **Densidade dos materiais**

Uma das características dos materiais anteriormente apresentados e que foi objeto de estudo no presente trabalho foi a densidade dos materiais, assumindo particular importância quando se trata de materiais obtidos através de moldação por sopro, uma vez que a seleção de uma resina com o grau adequado é essencial para que a embalagem cumpra criteriosamente o fim a que se destina. (Rosato, et al., 1989).

A densidade de um material é reflexo da sua estrutura química e da sua organização molecular, no sentido em que as regiões cristalinas são mais compactas e as regiões amorfas são mais volumosas. Normalmente os materiais poliméricos apresentam densidades baixas quando comparados com outros materiais (Mano, 1991).

Pode assim traduzir-se densidade como sendo o valor da divisão da massa pelo volume do corpo em estudo, a uma determinada temperatura. Esta pode ser considerada um dos principais fatores que altera o valor da densidade. Geralmente a densidade é medida em  $\text{kg.m}^{-3}$  no Sistema Internacional (SI).

## 2.2.2 Ensaios Mecânicos em Plásticos

A realização de ensaios mecânicos permite estudar as propriedades mecânicas dos materiais. Estas englobam as propriedades que determinam a resposta dos materiais às influências externas, verificando-se a capacidade dos mesmos apresentarem deformações reversíveis ou irreversíveis e resistirem à fratura (Mano, 1991).

### 2.2.2.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração são dos mais utilizados para a determinação das propriedades mecânicas dos polímeros, dada a sua facilidade de reprodutibilidade, assim como a facilidade em obter provetes com as características necessárias, sendo por isso usados muitas vezes para o controlo de qualidade dos materiais.

O ensaio de tração consiste essencialmente em colocar um provete com uma geometria específica, sujeito a uma força crescente de tração aplicada em contínuo, obtendo-se o deslocamento do provete em função da carga aplicada. (Cruz, et al., 1992)

A realização do ensaio de tração convencional (comumente chamado de ensaio de tração) permite obter curvas de tensão *versus* flexão, através do registo dos valores da carga a que o provete está sujeito e alongamento provocado pela mesma. Desta forma e com os dados disponíveis, é possível o determinar parâmetros como a força, alongamento, extensão e tensão.

Relativamente às propriedades que mais se calculam no ensaio de tração temos: a tensão de rotura à tração, tensão de cedência, a extensão após rotura e ainda o coeficiente de estrição. A importância da determinação destas propriedades são em função do tipo de materiais que se pretendem analisar.

A tensão considera-se como sendo a tensão longitudinal média do provete, calculada pela divisão da força pela área da secção inicial do provete, tal como se pode ver na (1) e cujas unidades são MPa:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

Em que: F - Força aplicada [N]

S<sub>0</sub> - área da secção inicial do provete [mm<sup>2</sup>]

A extensão determina-se dividindo o alongamento do comprimento de referência, pelo próprio comprimento inicial de referência, através da seguinte equação, não tendo unidades de medida:

(2)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Em que:  $L_0$  - comprimento inicial de referência [mm]

L - comprimento medido [mm]

Como a tensão e extensão são calculadas através da divisão da força e do alongamento pelas constantes  $S_0$  e  $L_0$  respetivamente, a curva força *versus* alongamento tem a mesma configuração que a curva força *versus* extensão.

Na Figura 6 é apresentada uma curva típica resultante do ensaio de tração, em que podem ser observadas zonas distintas, tais como a zona de deformação elástica (1) sendo que nesta zona ainda é possível ao provete recuperar a sua forma (deformação reversível). Na zona 2 verifica-se a deformação plástica uniforme, enquanto que na zona 3 engloba toda a zona de deformação plástica. De notar que entre os pontos BC tem-se a zona de estrição (Cruz, et al., 1992).

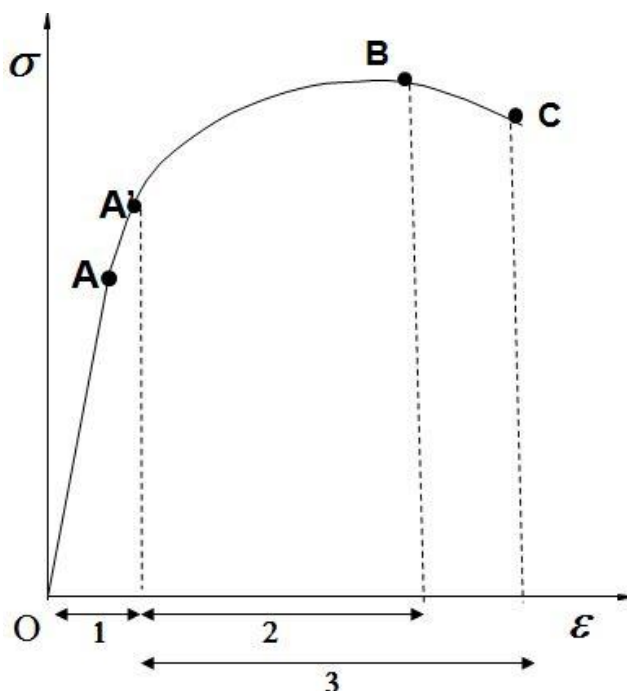


Figura 6 - Curva típica do ensaio de tração; ε - extensão; σ - tensão [MPa];

Especificamente para este trabalho, o parâmetro que se determinou foi o módulo de elasticidade ou módulo de Young (E), sendo este a constante de proporcionalidade ((4). De notar que na zona 1 (deformação elástica) da Figura 6 obedece à Lei de Hooke ((1) ou seja, existe proporcionalidade entre a carga e a extensão ou seja, para determinação do módulo de Young basta fazer-se uma tangente a esta curva.

(3)

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

(4)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

O módulo de Young pode ser traduzido empiricamente como que a rigidez do material, ou seja quanto maior for o módulo menor será a deformação plástica provocada pela tensão no material. Esta é uma propriedade dos materiais que se pode considerar muito constante, dado que a sua determinação é dada pelas forças de ligação entre os átomos e como será de esperar só alterando a natureza do material é que se consegue alterar as forças entre os átomos. Uma das formas a que se pode recorrer para alteração do módulo é através da introdução de elementos de liga, tratamentos térmicos ou deformação a frio, sendo que as modificações serão ligeiras e implicam sempre uma alteração da estrutura do material.

O único item que tem uma elevada influência no módulo é a temperatura, em que são inversamente proporcionais: com o aumento da temperatura regista-se uma diminuição no módulo de elasticidade. (Cruz, et al., 1992)

#### 2.2.2.2 Ensaio de Flexão em três pontos

O ensaio de flexão surgiu com o objetivo de ser utilizado essencialmente em materiais frágeis para determinar parâmetros como a tensão, deslocamento e módulo à flexão. Os provetes nestes ensaios têm uma geometria mais simples dos que os que são utilizados nos ensaios de tração e apresenta-se muito vantajoso para situações em que o material é duro. A questão principal no ensaio de flexão está na grande dispersão de resultados que apresenta nos materiais frágeis (cerca de 25%) (Davim, et al., 1992).

O ensaio consiste essencialmente em aplicar uma força (F) no centro de um provete de geometria retangular, apoiado em dois pontos, tal como está esquematizado na Figura 7.

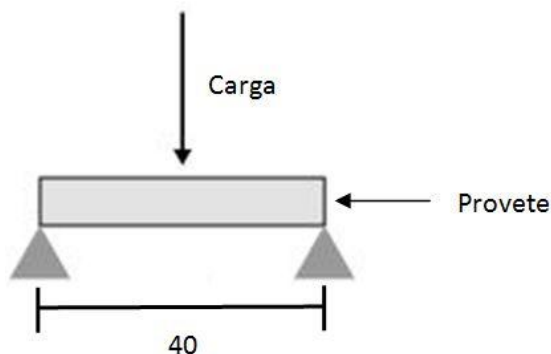


Figura 7- Representação esquemática do ensaio de flexão.

A tensão máxima de resistência à flexão é dada pela (5, sendo que esta representa o valor máximo da tensão de tração ou compressão nas fibras externas do provete do material em estudo.

(5)

$$\sigma = \frac{M.Y}{I} [Nmm^{-2}]$$

onde:

M - momento máximo de flexão (igual a  $P_{\max} L/2$ ) [ $Nmm^{-2}$ ];

Y - distância do eixo à fibra externa [mm];

I - momento de inércia inicial da secção transversal do provete em relação ao seu eixo [ $mm^4$ ], que no caso de provetes de secção retangular (utilizados neste estudo) pode ser calculado através da (6:

(6)

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Desta forma, para o cálculo da tensão máxima de resistência à flexão ( $\sigma_{\max.\text{flexão}}$ ) num provete de secção retangular utilizou-se a (7:

(7)

$$\sigma_{\text{máx. flexão}} = \frac{3.P.L}{2.b.h^3}$$

Onde

$P$  - carga aplicada [N];

$L$  - comprimento do provete [mm];

$b$  - largura do provete [mm];

$h$  - altura do provete [mm];

Outro parâmetro que é possível obter através do ensaio de flexão e foi determinado no âmbito deste estudo é o módulo de elasticidade à flexão ( $E_{\text{flexão}}$ ) e para isso recorre-se ao uso da equação (8):

(8)

$$E_{\text{flexão}} = \frac{P.L^3}{48.y.I}$$

Onde:

$y$  - o deslocamento do provete durante o ensaio [mm]

Mais uma vez, para o caso dos provetes de secção retangular, é utilizada a seguinte equação:

(9)

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Os principais fatores que influenciam os resultados dos ensaios de flexão podem ser conforme o tipo e velocidade de aplicação da força durante o decorrer do ensaio, o comprimento do vão entre os dois pontos de apoio e as dimensões da secção transversal do provete. Exemplificando alguns casos: uma força aplicada no centro do provete leva a que se obtenham resultados de resistência à flexão mais elevados, assim como se verifica um módulo de rotura mais elevado se a distância entre apoios for menor (considerando provetes exatamente com a mesma secção e dimensão). À semelhança do que se regista nos ensaios à tração, quanto maior for a velocidade de aplicação da força, mais elevada é a resistência à flexão (Davim, et al., 1992).

### **2.2.3 Degradação de Plásticos**

#### **2.2.3.1 Efeito da absorção de água ao longo do tempo**

O estudo do efeito da absorção de água em materiais plásticos ao longo do tempo tem assumido principal interesse dado que existe uma maior consciencialização dos efeitos poluentes que estes materiais podem ter por exemplo no oceano, procurando-se assim alternativas mais "amigas do ambiente".

A absorção de água e os seus efeitos nas propriedades mecânicas dos materiais dependem de vários fatores, nomeadamente tipo de polímero, orientação da matriz, espessura, temperatura, pH do meio de exposição, entre outras (Ratna, et al., 2012).

Um estudo recente de Ferreira *et al* afirma que a imersão em água tem um impacto significativo na perda de propriedades mecânicas dos materiais, sendo mais acentuada nos primeiros dias e depois tende a estabilizar com o passar do tempo (Ferreira, et al., 2016). Relativamente à água do mar os resultados obtidos são semelhantes, sendo que se verifica uma diminuição da resistência à flexão com a absorção de água ao longo do tempo (Ratna, et al., 2012). A absorção de água nos materiais poliméricos segue um processo típico de difusão obedecendo à lei de Fick (Leman, et al., 2007).

### **2.3 Moldação por Sopro**

A moldação por sopro é um processo produtivo que permite o fabrico em massa de peças plásticas ocas sendo geralmente considerado um processo de transformação económico com baixos custos de produção, com pouco investimento de capital em máquinas, matrizes, moldes e equipamentos auxiliares. Este processo tem como ideia base a produção de frascos de vidro ("sopro de vidro"), sendo que se encontram muitas semelhanças entre os dois métodos produtivos, porém a moldação por sopro é um termo exclusivamente dos plásticos (Roman, 1995).

O facto de os frascos de vidro serem peças pesadas, frágeis e com pouca capacidade de resposta fez com que a moldação por sopro rapidamente ganhasse força no mercado, levando a um rápido crescimento da mesma principalmente na indústria de embalagens para dos detergentes e produtos de limpeza.

Foi registada em 1881 a primeira patente de preforma de polímero extrudido, pela empresa Celluloid Novelty Co. e Celluloid Manufacturing Co. de *New York*, porém o grande desenvolvimento comercial deu-se durante a segunda guerra mundial, aquando do aparecimento de polietileno de baixa densidade. Foi no ano de 1940 que a empresa Monsanto moldou os primeiros frascos. (Roman, 1995).

### 2.3.1 Descrição do processo

O processo de moldação por sopro passa por vários estágios, podendo dividir-se em:

- aquecimento do termoplástico até ao seu ponto de fusão;
- formação do *parison*;
- posicionamento do molde e do *parison*;
- fecho do molde;
- insuflação da peça plástica e arrefecimento da mesma;
- extração da peça e acabamento;

A diversidade das tecnologias disponíveis, fazem com que o processo apresente algumas variações, porém na sua essência caracteriza-se pelos estágios anteriormente apresentados. Relativamente ao ciclo de montagem, pode verificar-se na Figura 8 as diferentes fases que o constituem.

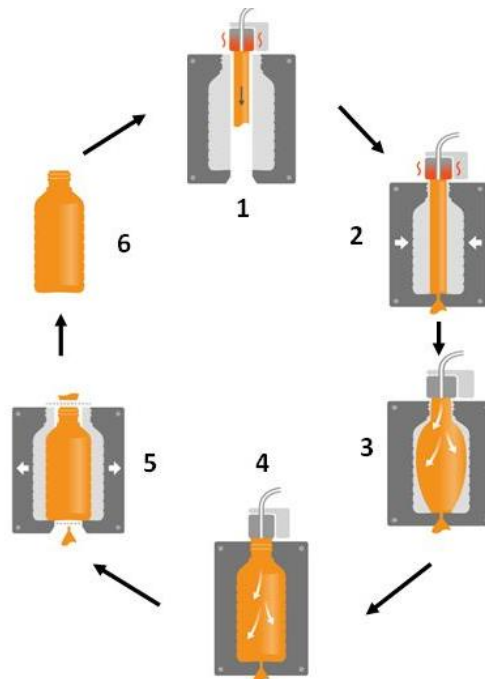


Figura 8 - Ciclo de moldação. Adaptado (Inovation, 2017).

O processo fabrico de uma peça inicia-se com a colocação de material virgem em grão na tremonha da máquina de moldação, este por sua vez é aquecido através da ação de várias resistências até que atinge o ponto de fusão, sendo com isso empurrado pelo fuso até ao cabeçote de saída do material. Na zona da matriz (1) inicia-se a formação do *parison* que posteriormente é posicionado no interior do molde (2) aquando do seu fecho. Após esta fase, inicia-se o processo de insuflação da peça (3) que leva a que a preforma encoste nas paredes do molde assumindo a forma que se pretende, o molde é mantido frio devido à circulação de água no seu interior, o que leva assim ao arrefecimento da peça durante a insuflação (4). O molde abre e são efetuados os acabamentos finais (5), tendo-se por fim a peça final (6), Após esta fase, inicia-se um novo ciclo.

Na Figura 9 pode observar-se uma esquematização da máquina de injeção e do processo produtivo.

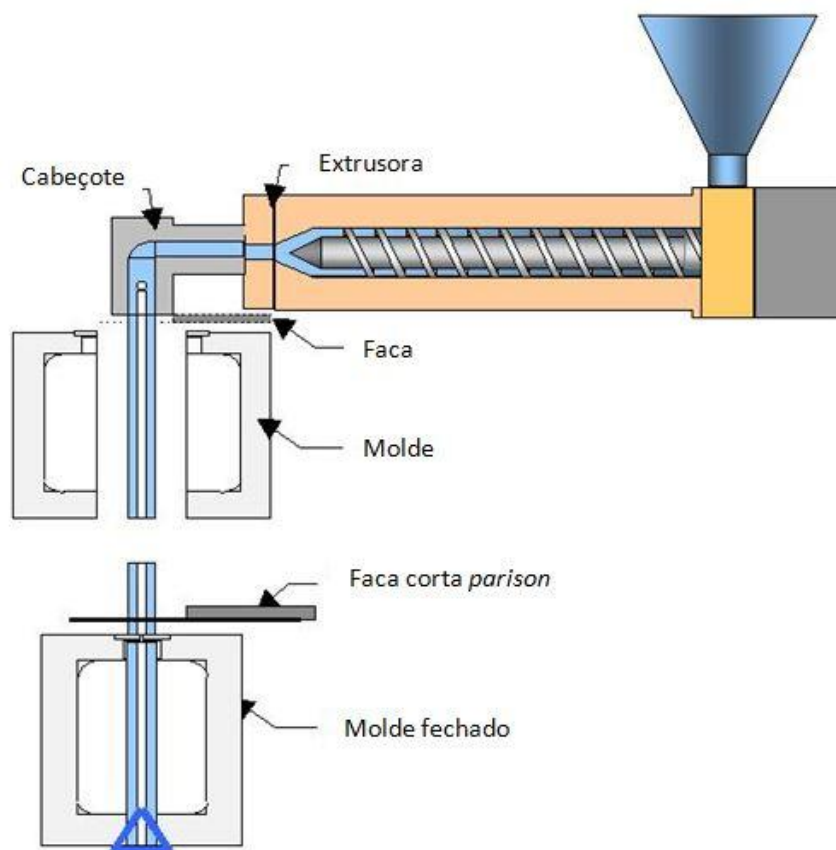


Figura 9 - Esquematização de máquina de moldação por sopro.



### 3.1 Materiais testados

Neste trabalho foram avaliadas as densidades dos seguintes materiais poliméricos, processados por moldação por sopro: Polietileno de Alta Densidade reciclado (PEAD), Polietileno de Alta Densidade reciclado com aditivo oxo-biodegradável DG 22-08 (aditivo DG 22-08), Polietileno de Alta Densidade reciclado com aditivo oxo-biodegradável 93283, material biodegradável (BioFlex 5710). No anexo A são apresentadas as Fichas Técnicas dos materiais processados.

Os aditivos oxo-biodegradáveis são materiais masterbach degradáveis com bases em poliolefinas, cujas principais áreas de aplicação são o fabrico de filmes flexíveis e semi-rígidos de polietileno. O material biodegradável pertence à família dos bioplásticos, tendo como base misturas de ácido polilático, ou seja origem orgânica.

### 3.2 Densidade

Para a determinação das densidades dos vários materiais testados, foi utilizado o procedimento experimental, que tem por base o Princípio de Arquimedes: *"Um corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima (Impulso), cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo"* (UALG, 2017). Estes testes foram realizados com recurso à balança hidrostática *METTLER TOLEDO AG204* (Figura 10), tendo sido utilizado um equipamento específico para a pesagem dos provetes.



Figura 10 - Balança hidrostática utilizada para determinação das densidades dos materiais processados.

A determinação da densidade experimental dos diferentes materiais, com base no Princípio de Arquimedes, é dada pela equação (10):

$$\rho = \frac{M_1}{M_1 - M_2} \times \rho_{H_2O} \quad (10)$$

$\rho$  – densidade do corpo ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $M_1$  – massa da amostra fora de água (g);  
 $M_2$  – massa da amostra dentro de água (g);  
 $\rho_{H_2O}$  – densidade da água destilada ( $\text{g/cm}^3$ ).

O procedimento experimental (Figura 11) consiste na pesagem das amostras dentro e fora de água destilada, sendo usado como referência a densidade da água, em que assume o valor de  $1 \text{ g.cm}^{-3}$  para uma temperatura de  $14^\circ\text{C}$ . No caso específico do presente trabalho foi necessário fazer a correção deste valor uma vez que a água se encontrava à temperatura de  $18^\circ\text{C}$  ou seja o valor usado para a densidade da água destilada foi  $0,9986 \text{ g.cm}^{-3}$  (Brown, 1988).

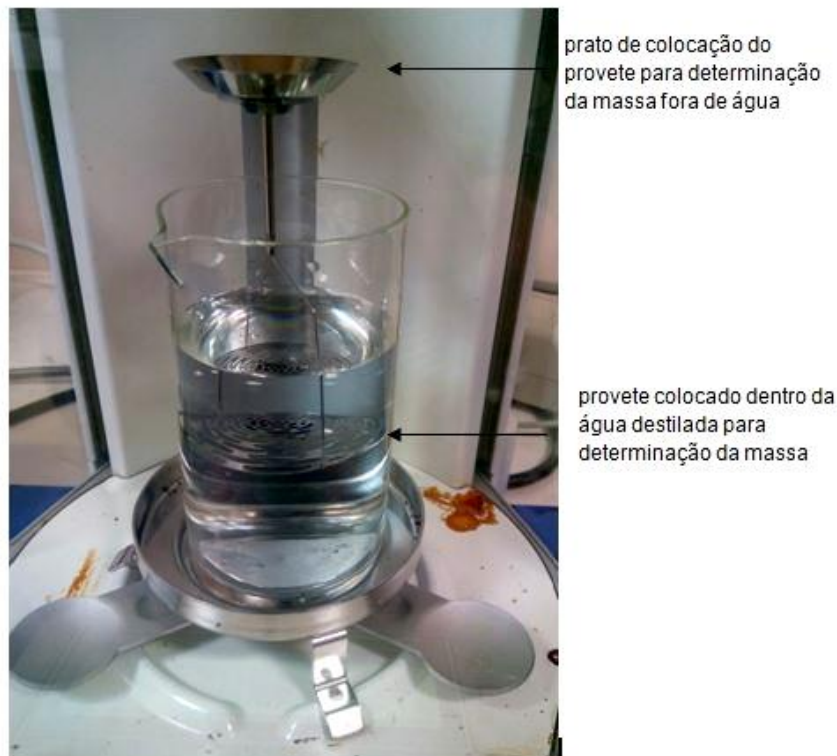


Figura 11- Balança com equipamento específico utilizado para determinação da densidade dos materiais.

### **3.3 Absorção de água do mar**

Os testes de absorção de água do mar foram realizados de acordo os procedimentos estabelecidos pela norma ASTM D570-98. Desta forma, utilizou-se o seguinte procedimento experimental indicado abaixo para obtenção dos valores relativos à absorção de água do mar dos diferentes materiais testados (PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 22-08, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710):

1. Foram colocadas as amostras dos vários materiais na estufa (Figura 12) a 100°C durante 1 hora e posteriormente arrefecidos à temperatura ambiente.
2. Em seguida as amostras foram colocadas em recipientes preparados para o efeito (diferentes tempos de imersão em água; Figura 13 e Figura 14). Numa primeira fase as pesagens foram efetuadas em curtos períodos de tempo, alargando-se posteriormente o espaço temporal entre pesagens.
3. Para se efetuar as pesagens, retiram-se as amostras uma a uma do recipiente, sendo removida a água existente nas superfícies dos provetes com papel absorvente e, posteriormente, colocadas na balança hidrostática, como se pode observar na Figura 15.
4. Com os dados obtidos foi feita a representação gráfica do aumento em percentagem de água em função do tempo;
5. Na determinação da absorção de água (W%), nos materiais testados ((11)):

$$W(\%) = \frac{(\text{Peso molhado} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad (11)$$



Figura 12 - Estufa utilizada para retirar a humidade das amostras, nos ensaios de absorção.



Figura 13- Amostras colocadas em água do mar.



Figura 14 - Amostras dos diferentes materiais utilizados nos ensaios de absorção.

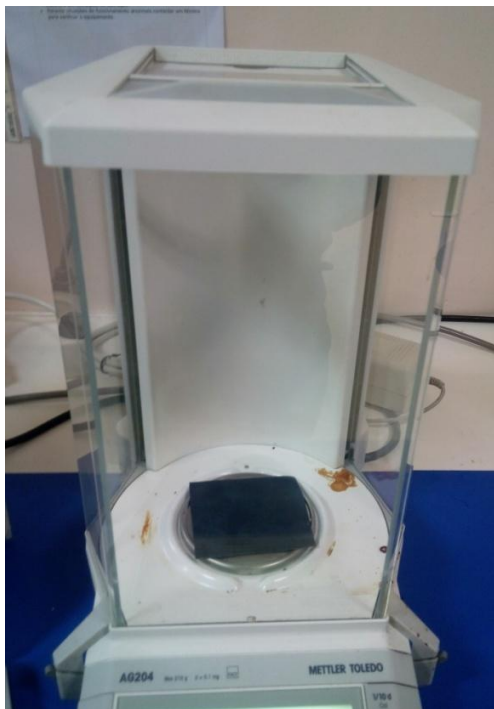


Figura 15 - Pesagem de amostras nos ensaios de absorção de água.

### 3.4 Ensaios de Flexão a três pontos

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a norma ASTM D790, tendo sido utilizada a máquina eletromecânica Zwick/Z100 (Figura 16). Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente, com uma velocidade de carregamento de 10 mm/min e em controlo de deslocamento, obtendo-se os valores da força, deslocamento e extensão dos provetes. A máquina tem uma consola de controlo e ligação a um computador, permitindo, através de *software* específico a definição e tratamento de todos os parâmetros (carga, velocidade, deslocamento), sendo que o teste se inicia com a configuração dos mesmos. Posteriormente é colocado o provete na máquina (Figura 17) e inicia-se o ensaio. Através do ecrã do computador consegue visualizar-se a curva de evolução da carga *versus* deslocamento em tempo real ao longo do ensaio. Pode ver-se na Figura 7 a representação esquemática do ensaio e nas Figura 18 e Figura 19 podem observar-se os provetes utilizados para a realização dos testes.



Figura 16- Máquina eletromecânica Zwick/Z100, adaptada ao ensaio de flexão.

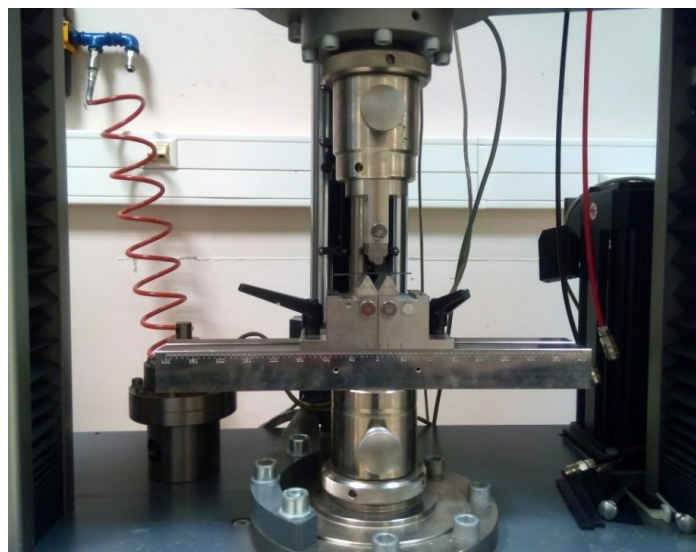


Figura 17- Ensaio de flexão a três pontos.



Figura 18- Fotografia do provete usado nos ensaios de flexão.

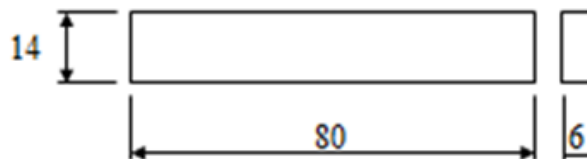


Figura 19- Esquemática do provete utilizado para os ensaios de flexão.

### 3.5 Ensaios de tração

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638, tendo sido utilizada a máquina eletromecânica Zwick/Z100 (Figura 20). Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente, com uma velocidade de carregamento de 10 mm/min e em controlo de deslocamento, obtendo-se os valores da força, deslocamento e extensão dos provetes. Os provetes foram dimensionados com as medidas e geometria definidas pela norma tal como se pode observar nas Figura 22 e Figura 23. Estes são colocados nas duas amarras da máquina e centrados de maneira a que a carga seja uniforme em todo o provete (Figura 21). À semelhança do que se descreveu acima, os dados obtidos foram visualizados em computador através de interface que traduzia graficamente os valores obtidos em tempo real (carga *versus* alongamento).

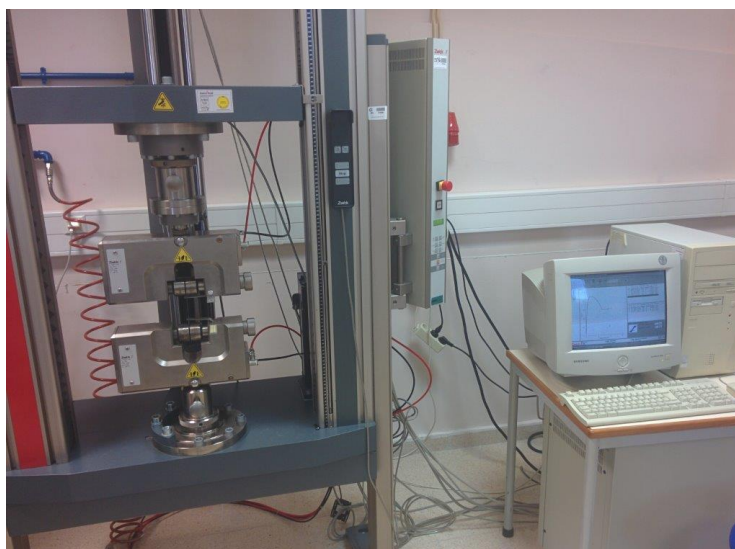


Figura 20- Máquina eletromecânica Zwick/Z100, adaptada ao ensaio de flexão.

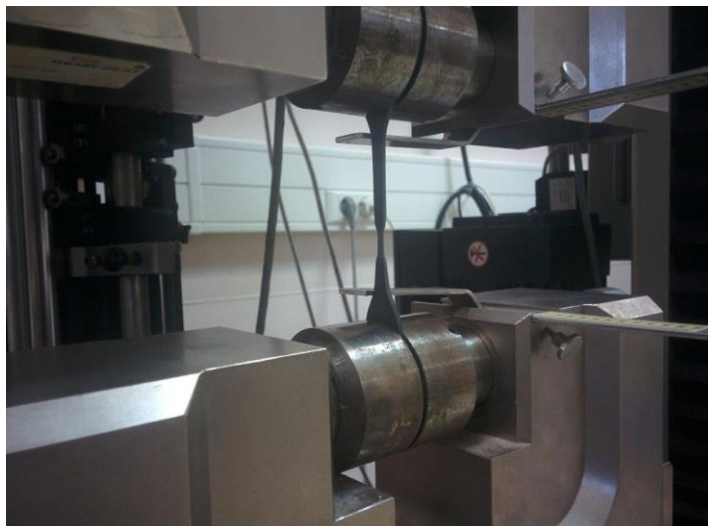


Figura 21 - Ensaio de tração.



Figura 22- Fotografia do provete utilizado para os ensaios à tração.

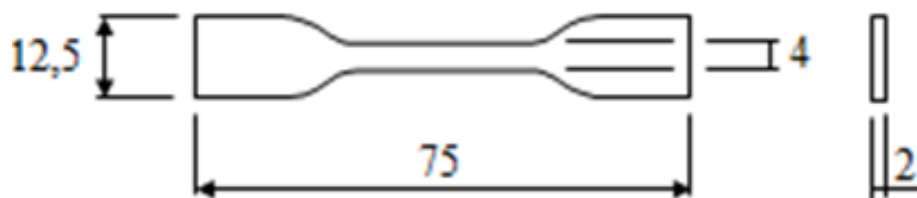


Figura 23- Esquematização do provete utilizado para os ensaios de tração.

## **Capítulo 4 Apresentação e Discussão de Resultados**

## 4.1 Propriedades dos Polímeros

### 4.1.1 Densidade

Na Figura 24 são apresentados os valores de densidade experimental obtidos para os vários materiais considerados neste trabalho: PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710. Pode-se observar que os valores obtidos apresentam um desvio-padrão baixo, o que indica que os materiais foram processados em condições semelhantes e otimizadas.

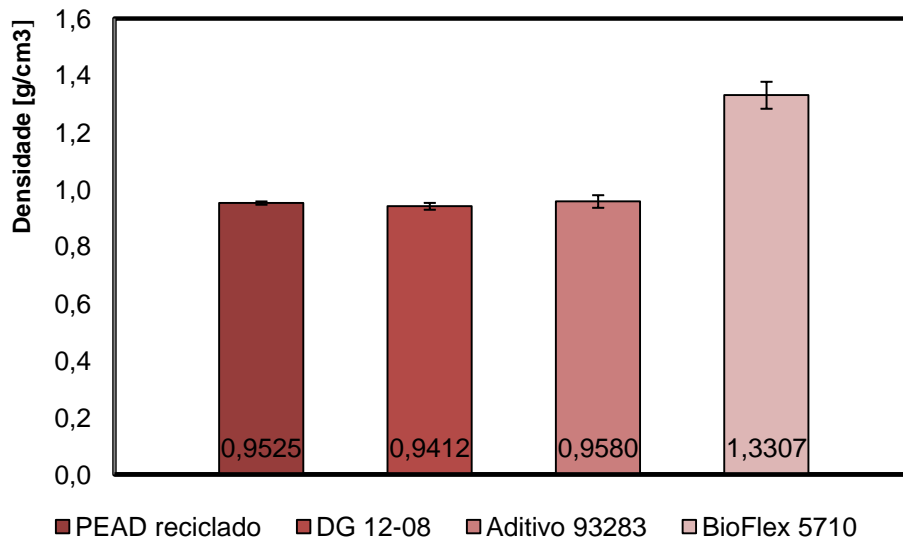


Figura 24- Valores densidade obtidos para diferentes materiais processados e ensaiados mecanicamente.

### 4.1.2 Ensaio de absorção com água do mar

O principal objetivo deste trabalho passou por avaliar o comportamento mecânico dos diferentes materiais quando imersos em água do mar. Assim, foram realizados ensaios de absorção de água e analisadas as propriedades mecânicas para diferentes tempos de imersão em água do mar.

Na Figura 25 são apresentadas as curvas típicas de absorção *versus* tempo de imersão em água, para os quatro materiais em estudo: PEAD reciclado, aditivo DG 12-08, aditivo 93283 e BioFlex 5710. É possível observar que o material BioFlex 5710

apresenta valores muito acentuados de absorção nos primeiros dias de imersão em água, sendo que depois estabiliza ao longo do tempo. O PEAD com os aditivos oxo-biodegradáveis têm um comportamento muito semelhante entre eles, apresentando uma baixa percentagem de absorção de água do mar ao longo de todo o tempo em que decorreram os ensaios. O PEAD reciclado distingue-se dos outros materiais, na medida em que apresentou mais tempo para a estabilização de absorção de água, ou seja, a absorção ocorreu de uma forma mais lenta e sempre com aumentos (ainda que pequenos incrementos) da percentagem de água absorvida.

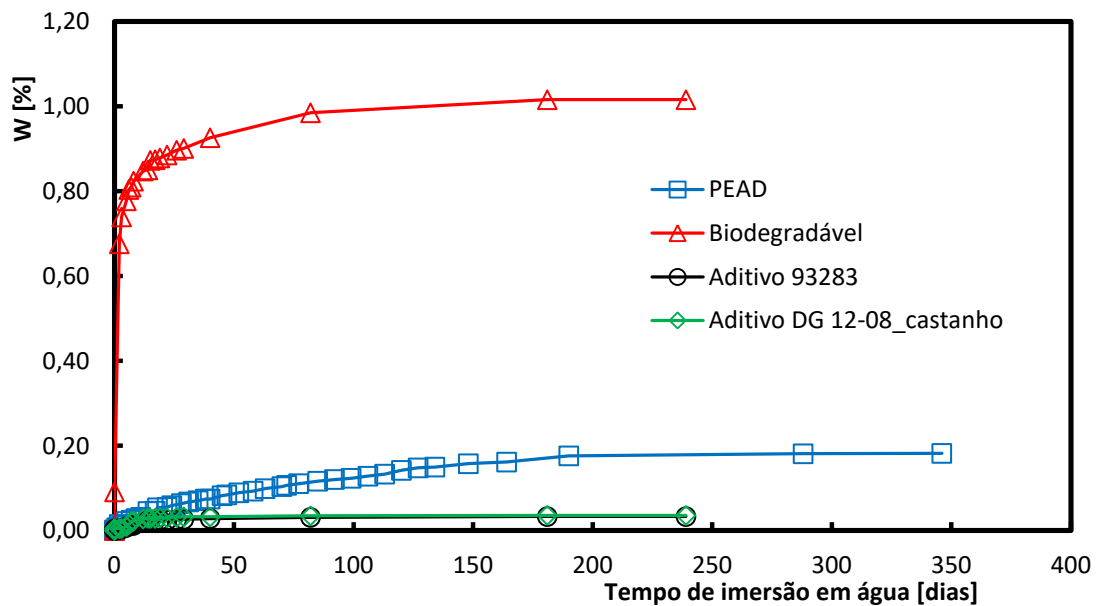


Figura 25 - Percentagem de absorção de água *versus* tempo de imersão em água do mar.

O comportamento de difusão pode ser modelado pela (12) (Ferreira, et al., 2016):

$$\frac{M_t}{M_\alpha} = k_n t^n \quad (12)$$

Em que:

$M_t$  - é a água absorvida no tempo (t);

$M_\alpha$  - é a água absorvida no ponto de saturação ou infinita no tempo;

kn e n - são contantes.

Dependendo do valor de n o processo de difusão pode ser classificado como (Ferreira, et al., 2016):

- $n > 1$  - supercaso II
- $n = 1$  - caso II
- $0,5 < n < 1$  - anómalo

- $n = 0,5$  - Fickiano clássico
- $n < 0,5$  - pseudo-fickiano

Na Figura 26 são apresentadas as diferentes curvas de variação do logaritmo de  $M_t/M_\infty$  em função do tempo. Na Tabela 1 são apresentadas as equações potencia ajustadas aos dados e a classificação dos materiais processados como pseudo-fickiano e Fickiano clássico.

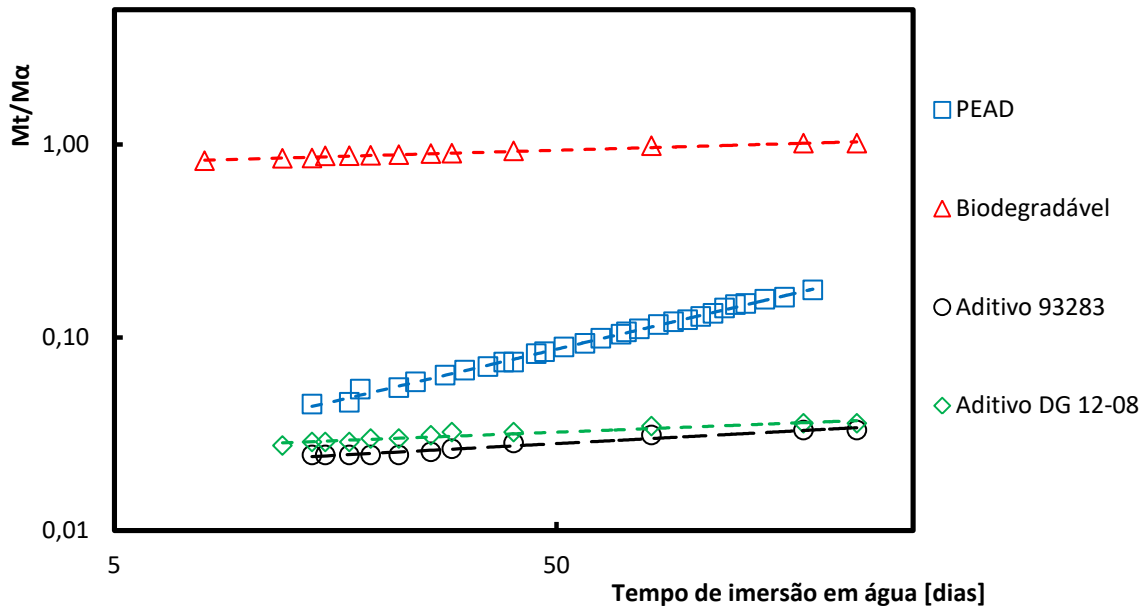


Figura 26 – Curvas típicas de variação de  $M_t/M_\infty$  versus tempo de imersão em água do mar.

Tabela 1- Equações da reta da regressão linear aplicada às curvas de absorção.

Material	Equação da reta	$R^2$	Classificado Fick
Biodegradável	$y = 0.7254x^{0.0647}$	0.9800	pseudo-fickiano
PEAD reciclado	$y = 0.0124x^{0.4972}$	0.9795	Fickiano clássico
Aditivo 93283	$y = 0,0175x^{0,1218}$	0,9588	pseudo-fickiano
Aditivo DG 12-08	$y = 0.0229x^{0.0883}$	0.9252	pseudo-fickiano

## 4.2 Propriedades Mecânicas dos Polímeros processados

Os resultados relativos às propriedades mecânicas, módulo de elasticidade à flexão e à tração ( $E_{flexão}$  e  $E_{tração}$ ) e resistência mecânica à flexão e à tração, ( $\sigma_{max.flexão}$  e  $\sigma_{max.tração}$ ), são apresentados de seguida para os diferentes materiais ensaiados: PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 22-08 e, PEAD com o aditivo 93283 e BioFlex 5710.

### 4.2.1 Ensaio de Flexão

#### 4.2.1.1 Resultados de Tensão à Flexão em 3 pontos

Na Tabela 2 são apresentados os valores da tensão média máxima à flexão em três pontos ( $\sigma_{máx.flexão}$ ) bem como os valores de módulo de elasticidade ( $E_{flexão}$ ).

Tabela 2- Valores de tensão máxima em flexão e valores de módulo de elasticidade, para 0 dias de imersão em água do mar.

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{flexão}$ [MPa]		$\sigma_{flexão}$ [MPa]	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
0	PEAD reciclado	1168,37	79,57	45,77	3,05
	DG 22-08	949,50	104,73	35,80	3,92
	93283	845,61	49,98	43,03	3,05
	BioFlex 5710	2926,67	552,17	68,50	5,91

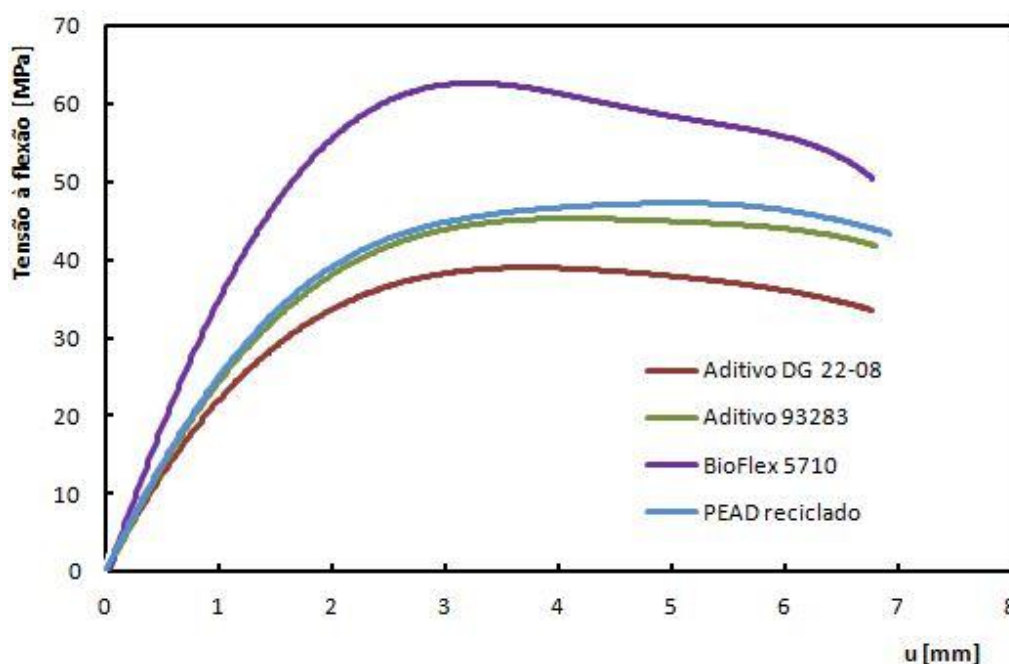


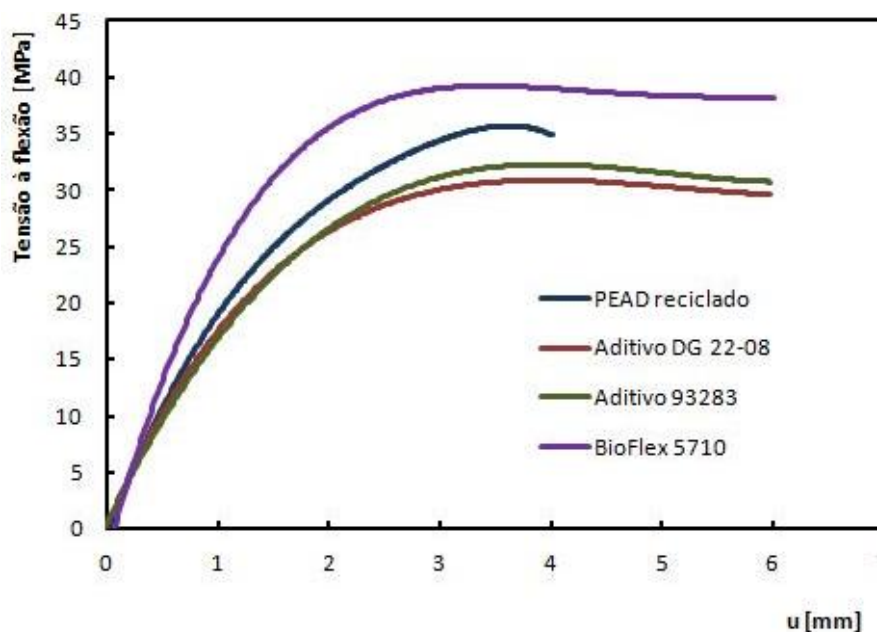
Figura 27- Curva típica de tensão máxima à flexão versus deslocamento, para 0 dias de imersão em água do mar.

Na Figura 27 são apresentadas as curvas típicas da tensão máxima à flexão ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) versus deslocamento para os diferentes materiais processados. O material que apresenta maior valor de tensão máxima à flexão ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) em três pontos é o BioFlex 5710 e o que apresenta o menor valor é o PEAD com aditivo DG 22-08 (para tempos de imersão em água de 0 dias).

Na Tabela 3 e na Figura 28 são, também, apresentados os valores da tensão máxima em flexão ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) em três pontos bem como os valores de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ) para os diferentes materiais processados e para tempos de imersão em água de 105 dias. Na Tabela 3 são apresentados os valores de variação, em percentagem, da tensão máxima à flexão e do módulo de elasticidade à flexão, quando comparados com os resultados encontrados para zero dias de imersão em água do mar.

**Tabela 3- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 105 dias de emersão em água do mar.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{flexão}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{flexão}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação do $E_{\text{flexão}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação da $\sigma_{\text{flexão}}$ (%)
105	PEAD reciclado	726,33	19,56	-37,83	33,47	3,82	-26,87
	DG 22-08	577,13	86,88	-39,22	30,64	4,85	-14,43
	93283	690,22	91,70	-18,38	33,65	6,53	-21,80
	BioFlex 5710	973,69	493,22	-66,73	37,16	7,26	-45,75



**Figura 28- Curvas típicas de tensão à flexão em 3 pontos versus deslocamento, para Tempos de imersão em água 105dias.**

Desta forma, verifica-se que o material BioFlex 5710 foi o que apresentou uma variação mais acentuada dos valores de tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) e de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ), tendo apresentado uma diminuição da ordem dos 45,75% e 66,73% respetivamente. O material que apresentou a menor variação foi, no caso da tensão máxima à flexão, o PEAD com o aditivo DG 12-08 (diminuição de 14,43% quando comparado com os valores obtidos para zero dias). No caso do módulo de elasticidade à flexão, o material que apresentou o menor valor, foi o PEAD com o aditivo 93283 (diminuição de 18,38% quando comparado com os valores obtidos para zero dias).

Nas figuras seguintes (Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32) são apresentadas as curvas de variação de tensão média máxima *versus* o tempo de imersão em água do mar e indicados os valores de desvio padrão para todos os materiais processados. São, também, apresentadas na Figura 30, Figura 31 e Figura 32, as curvas de tensão média máxima *versus* o tempo de exposição solar para todos os materiais PEAD com os diferentes aditivos e o BioFlex 5710 (linha a laranja).

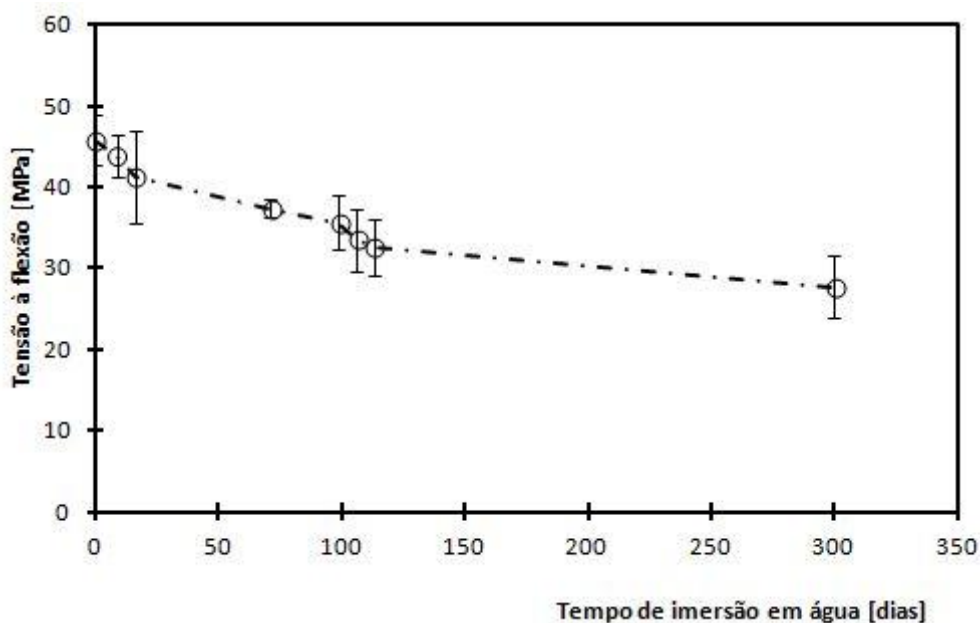


Figura 29- Valores de tensão máxima à flexão em três pontos *versus* tempo de imersão em água para o PEAD reciclado.

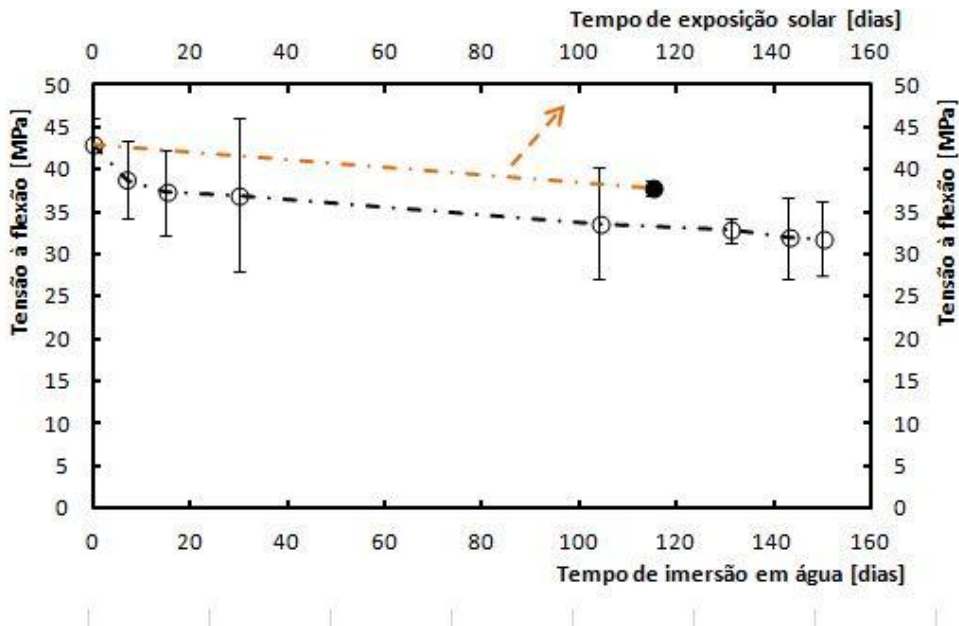


Figura 30- Valores de tensão máxima à flexão versus tempo de imersão em água do mar para o aditivo 93283.

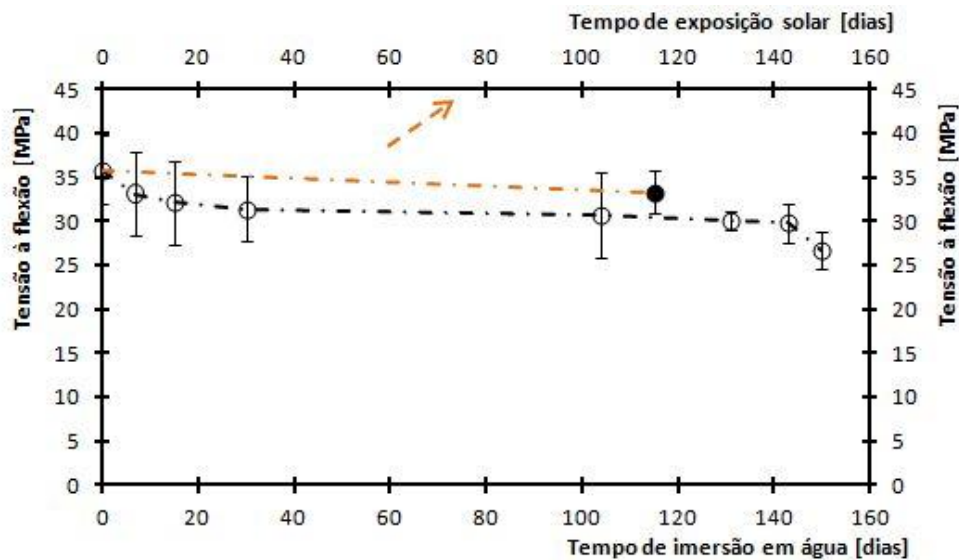


Figura 31-Valores de tensão máxima à flexão em três pontos versus tempo de imersão em água para o material DG 22-08.

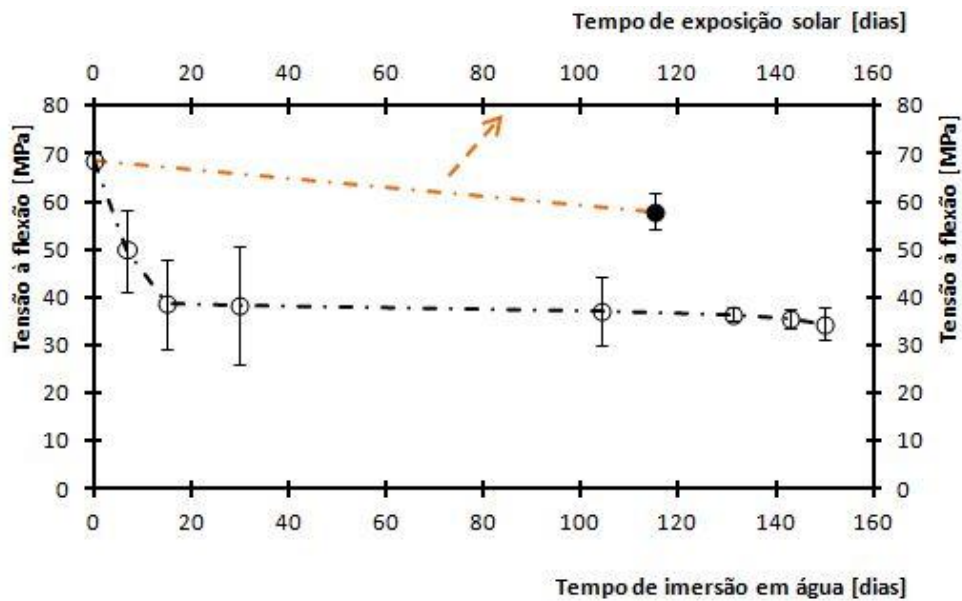


Figura 32- Valores de tensão máxima à flexão em três pontos *versus* tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex 5710.

Nas figuras seguintes (Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36) são apresentadas as curvas de variação da média do módulo de elasticidade *versus* o tempo de imersão em água do mar. Nas figuras são indicados os valores médios os valores relativos ao desvio padrão para todos os materiais processados.

Na Figura 34, Figura 35 e Figura 36 são apresentadas, além das curvas de variação da média do módulo de elasticidade *versus* o tempo de imersão em água do mar, as curvas de tensão média máxima *versus* o tempo de exposição solar para todos os materiais PEAD com os diferentes aditivos e o BioFlex 5710.

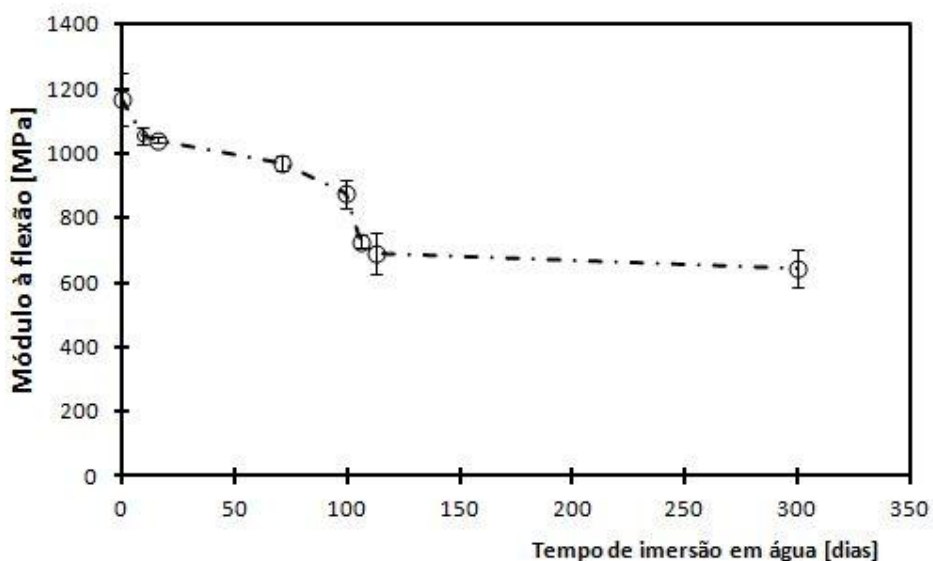


Figura 33 - Valores de módulo de elasticidade à flexão *versus* tempo de imersão em água do mar para o PEAD reciclado.

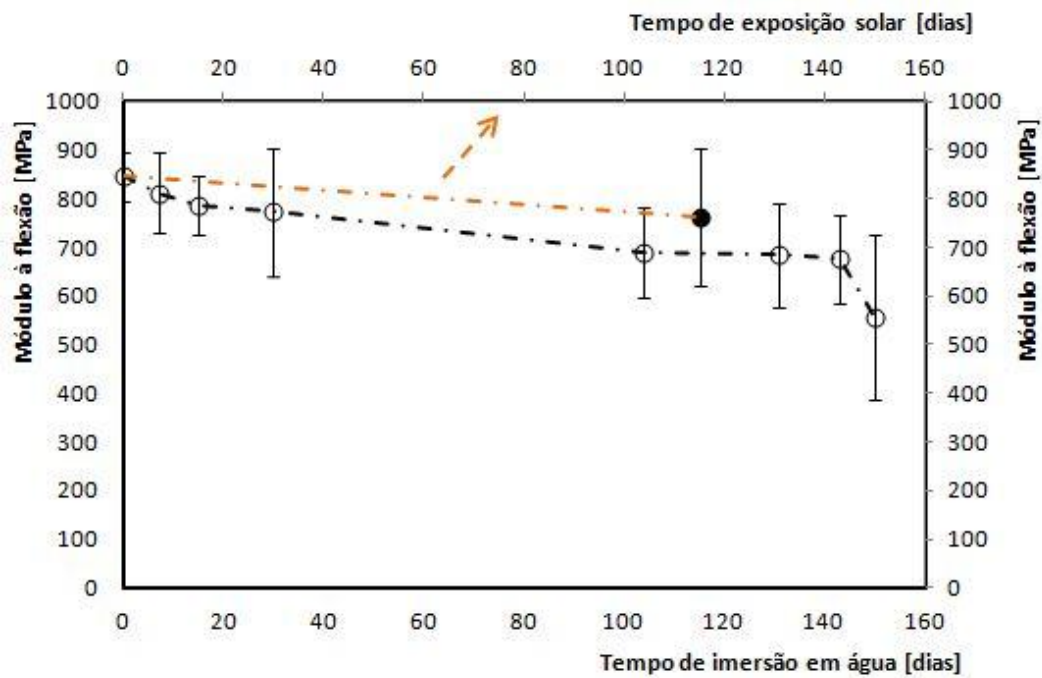


Figura 34- Valores de módulo de elasticidade versus tempo de imersão em água do mar para o aditivo 93283.

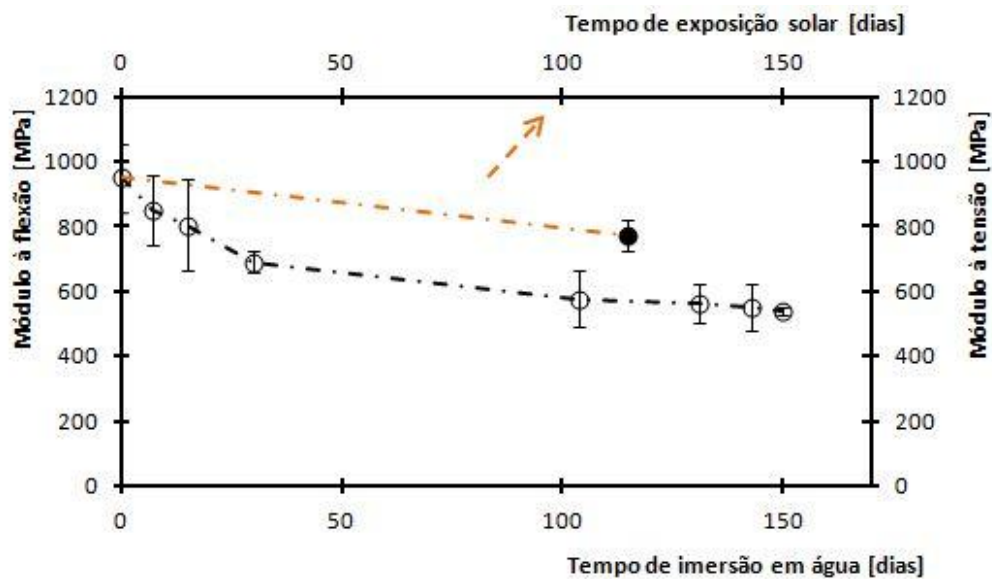


Figura 35- Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água do mar para o aditivo DG 22-08

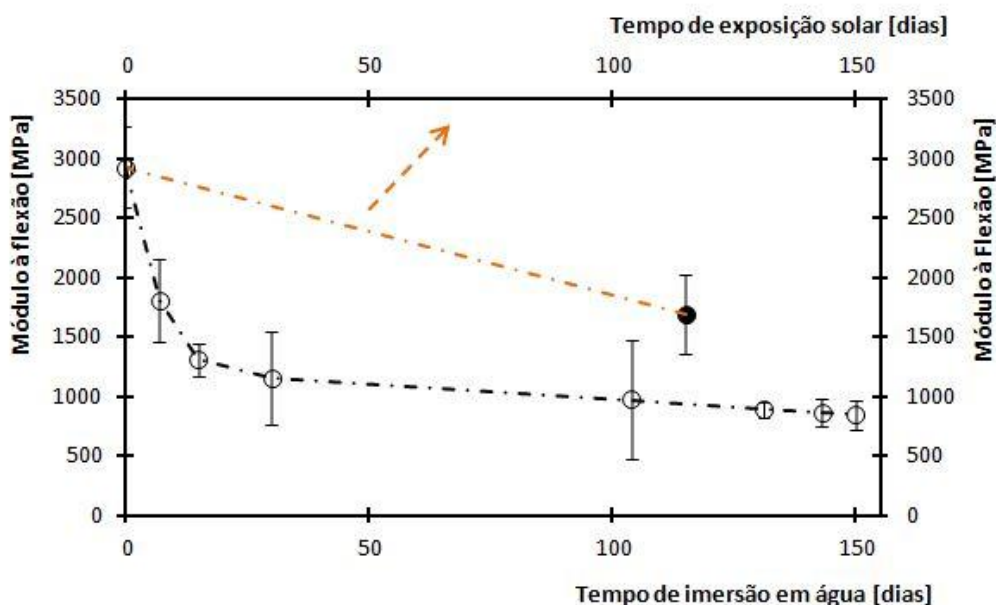


Figura 36 - Valores de módulo de elasticidade à flexão versus tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex5710.

Na Tabela 4 são apresentados os valores da tensão média máxima em flexão ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) em três pontos bem como os valores de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ) para os diferentes materiais processados e para tempos de imersão em água de 8 dias, sendo igualmente apresentados os seus valores de variação, em percentagem, comparativamente com os resultados encontrados para zero dias de imersão em água do mar.

Tabela 4- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 8 dias de emersão em água do mar.

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{flexão}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{flexão}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{flexão}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{flexão}}$ (%)
8	PEAD reciclado	1055,03	26,54	-9,70	43,76	2,61	- 4,40
	DG 22-08	852,17	107,66	-10,25	33,14	4,83	- 7,44
	93283	812,30	83,13	-3,94	38,76	4,57	- 9,93
	BioFlex 5710	1801,00	348,79	-38,46	49,80	8,56	- 27,30

É possível observar que o material BioFlex 5710 foi o que apresentou uma variação mais acentuada dos valores de tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) e de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ), tendo apresentado uma diminuição de 38,46% e 27,30%

respetivamente. O material em que apresentou a menor variação de tensão máxima à flexão foi o PEAD reciclado com uma diminuição de 4,40% (relativamente aos valores obtidos para zero dias). No caso do módulo de elasticidade à flexão foi o PEAD com o aditivo 93283 que apresentou a menor variação que foi de 3,94% (relativamente aos valores obtidos para zero dias).

Na Tabela 4Tabela 5 são apresentados os valores de tensão máxima em flexão ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ) a três pontos e os valores de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ), para tempos de imersão em água do mar de 15 dias e para os materiais processados (PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 22-08, PEAD com aditivo 93283 e o material biodegradável BioFlex 5710). São também apresentados os valores de variação da tensão e de módulo em flexão, em percentagem, relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 2).

Verifica-se que o PEAD com o aditivo 93283 foi o material que apresentou valores mais baixos de módulo de elasticidade ( $E_{\text{flexão}}$ ) e de tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.flexão}}$ ), com variações de 3,94% e 9,93%, respetivamente. Por outro lado, o BioFlex 5710 foi o material que apresentou uma variação mais acentuada dos valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e de  $E_{\text{flexão}}$ , valores de 43,46% e 55,3%, respetivamente.

**Tabela 5- Valores de tensão máxima e módulo de elasticidade à flexão dos vários materiais testados para 15 dias de emersão em água do mar.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{flexão}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{flexão}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{flexão}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação da $\sigma_{\text{flexão}}$ (%)
15	PEAD reciclado	1041,03	8,75	-10,90	41,18	5,70	-10,04
	DG 22-08	804,22	139,40	-15,30	32,12	4,83	-10,29
	93283	786,24	61,69	-3,94	37,28	5,07	-9,93
	BioFlex 5710	1308,10	140,48	-55,30	38,73	9,34	-43,46

Na Tabela 4Tabela 6 pode-se observar os valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e de  $E_{\text{flexão}}$  para tempos de imersão em água de 71 dias (para o PEAD reciclado) e para tempos de imersão em água 30 dias (PEAD + DG 12-08, PEAD + 93283 e BioFlex 5710). São também apresentados os valores de variação de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e de  $E_{\text{flexão}}$ , relativamente aos obtidos para zero dias de imersão em água do mar (Tabela 2).

No caso dos materiais PEAD com o aditivo 12-08, do PEAD com aditivo 93283 e o do BioFlex 5710 (imersos em água do mar durante 30 dias), é possível observar que

o material biodegradável BioFlex apresenta o maior valor de variação tanto de  $E_{flexão}$  como de  $\sigma_{máx.flexão}$  (Tabela 6). Por outro lado, o material que apresenta a variação mais pequena de  $E_{flexão}$  é o PEAD com aditivo 93283. Em termos de  $\sigma_{flexão}$ , o material que apresenta o menor valor de variação é o PEAD com aditivo DG 12-08.

**Tabela 6-  $\sigma_{máx.flexão}$  e de  $E_{flexão}$  para 71 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 30 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{flexão}$ [MPa]			$\sigma_{flexão}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{flexão}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{flexão}$ (%)
71	PEAD reciclado	970,15	23,91	-16,97	37,37	1,15	-18,36
30	DG 12-08	690,78	32,98	-27,25	31,45	3,62	-12,17
	93283	773,86	131,20	-8,49	37,01	9,02	-13,98
	BioFlex 5710	1151,23	393,49	-60,66	38,29	12,28	-44,106

Na Tabela 7 pode-se verificar os valores de  $\sigma_{máx.flexão}$  e os valores de  $E_{flexão}$  obtidos após imersão dos provetes em água do mar durante 99 dias, para o PEAD reciclado. Para os outros materiais testados o tempo de imersão em água foi de 131 dias. Na Tabela, são também apresentados os valores relativos à variação das propriedades mecânicas dos materiais (em percentagem) relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 2).

**Tabela 7- Valores de  $\sigma_{máx.flexão}$  e de  $E_{flexão}$  para 99 dias de tempo de em água do mar para o PEAD reciclado e de 131 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{flexão}$ [MPa]			$\sigma_{flexão}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{flexão}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{flexão}$ (%)
99	PEAD reciclado	874,19	46,43	-25,18	35,64	3,44	-22,13
131	DG 12-08	561,60	60,43	-40,85	30,07	1,12	-16,02
	93283	683,86	105,57	-19,13	32,85	1,44	-23,66
	BioFlex 5710	887,55	67,98	-69,67	36,57	1,49	-46,62

Na análise relativa aos materiais com tempos de imersão em água de 131 dias é possível observar que o material biodegradável BioFlex apresenta os maiores valores de variação do  $E_{flexão}$  (69,67%) e da  $\sigma_{máx.flexão}$  (46,62%). Por outro lado, o valor do  $E_{flexão}$

com a mais pequena variação é obtida com o material PEAD com aditivo 93283 e, o valor de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  com a mais pequena variação é obtida com o material PEAD com aditivo DG 12-08 apresenta.

Na Tabela 8 pode-se observar os valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e  $E_{\text{flexão}}$  para tempos de imersão em água de 113 (PEAD reciclado) e 143 (restantes materiais testados) dias. Na tabela são, também apresentados os valores relativos à variação das propriedades mecânicas (em %) relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 2).

**Tabela 8- Valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e de  $E_{\text{flexão}}$  para 113 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 143 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{flexão}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{flexão}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Varição de $E_{\text{flexão}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Varição de $\sigma_{\text{flexão}}$ (%)
113	<b>PEAD reciclado</b>	689,82	66,17	-40,96	32,58	3,42	-28,82
143	<b>DG 12-08</b>	550,64	70,20	-42,01	29,80	0,13	-16,76
	<b>93283</b>	675,77	91,53	-20,08	31,88	4,70	-25,91
	<b>BioFlex 5710</b>	863,48	110,95	-70,50	35,64	2,07	-47,97

Tal como o que foi observado nas Tabela 6 e Tabela 7, o material que apresenta o  $E_{\text{flexão}}$  com a mais pequena variação é o PEAD com aditivo 93283 (cerca de 20,08%), enquanto que para o valor da  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  é o PEAD com aditivo DG 12-08 que apresenta o menor valor de variação (cerca de 16,76%). Mais uma vez é possível observar que o material biodegradável BioFlex é o que apresenta os maiores valores de variação das propriedades mecânicas ( $E_{\text{flexão}} = 70,50\%$ ) e  $\sigma_{\text{máx.flexão}} = 47,97\%$ ).

Na Tabela 9 são apresentados os valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  e de  $E_{\text{flexão}}$ , para tempos de imersão em água de 300 dias (PEAD reciclado) e de 150 dias (restantes materiais) São também apresentados, nesta tabela, os valores relativos à variação das propriedades mecânicas relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 2). É possível constar que o material BioFlex5710 foi o que apresentou a maior variação das propriedades mecânicas ( $E_{\text{flexão}} = 71,18\%$  e  $\sigma_{\text{máx.flexão}} = 49,51\%$ ), relativamente aos valores obtidos para zero dias de tempo de imersão em água.

Relativamente à variação das propriedades mecânicas (em %) é possível constatar que o PEAD com aditivo DG 12-08, apresenta a variação mais baixa da  $\sigma_{flexão}$  e o PEAD com aditivo 93283 apresenta a variação mais baixa do  $E_{flexão}$  (Tabela 9).

**Tabela 9- Valores de  $\sigma_{flexão}$  e  $E_{flexão}$  para 300 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 150 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{flexão}$ [MPa]			$\sigma_{flexão}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{flexão}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{flexão}$ (%)
300	PEAD reciclado	643,79	60,49	-44,90	27,66	3,80	-39,56
150	DG 12-08	541,94	12,26	-42,92	26,69	2,18	-25,44
	93283	555,76	170,55	-34,28	31,79	4,36	-26,11
	BioFlex 5710	843,36	122,69	-71,18	34,58	3,54	-49,51

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos para os provetes de PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e o BioFlex 5710 que foram expostos à radiação solar durante 115 dias (18 de Julho a 10 de Novembro), com uma média de temperatura na ordem dos 18°C e elevados níveis de radiação UV (IPMA, 2017).

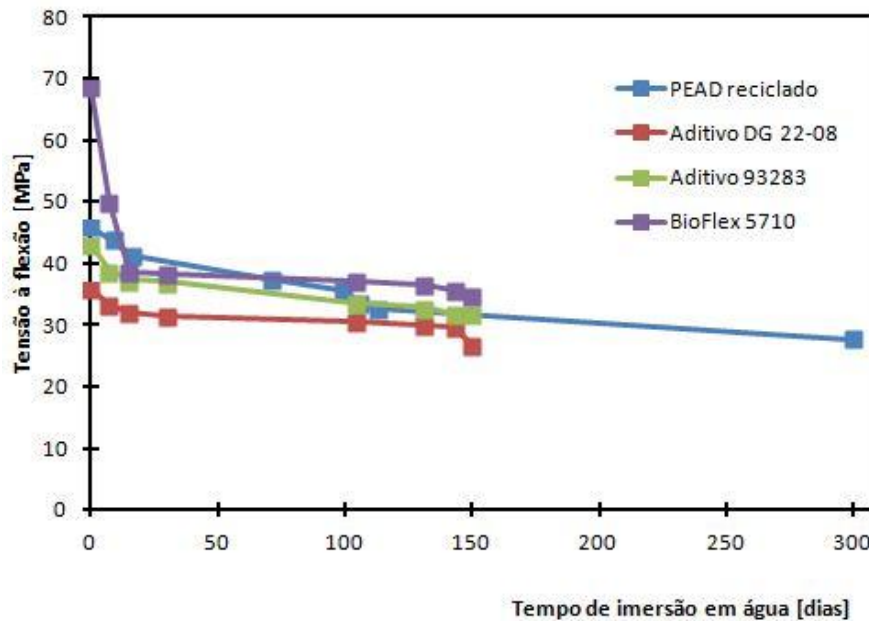
**Tabela 10 - Valores de  $\sigma_{flexão}$  e  $E_{flexão}$  para 115 dias.**

Exposição solar [dias]	Material	$E_{flexão}$ [MPa]			$\sigma_{flexão}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{flexão}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{flexão}$ (%)
115	DG 12-08	772,51	48,33	-18,64	33,31	2,44	-6,96
	93283	761,74	140,95	-9,92	37,87	0,92	-11,98
	BioFlex 5710	1693,13	336,70	-42,15	58,04	3,79	-15,27

É possível observar que o BioFlex 5710 apresenta a maior variação de  $\sigma_{máx. flexão}$  e de  $E_{flexão}$ , e 15,27% e 42,15% respetivamente. O PEAD com aditivo DG 12-08 foi o material que apresentou a menor variação de  $\sigma_{máx. flexão}$  (6,96%), enquanto que o material PEAD com aditivo 93283 foi o que apresentou a menor variação do  $E_{flexão}$ , quando comparados com os valores obtidos na Tabela 2. Por indisponibilidade de matéria-prima, não foi realizado o estudo de exposição aos raios solares do PEAD reciclado.

#### 4.2.1.2 Resultados globais

Na Figura 37 são apresentados os resultados globais obtidos para a  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  versus o tempo de imersão em água do mar, para os diferentes materiais testados: PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 22-08, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710, podendo assim fazer-se uma análise comparativa entre eles.



**Figura 37- Valores de tensão máxima em flexão versus tempo de imersão em água, para os vários materiais testados-**

O PEAD reciclado foi o único material em que foi possível efetuar testes até 300 dias de tempo de imersão em água, pois os restantes materiais foram ensaiados até um máximo de 150 dias (metade dos dias do PEAD reciclado). O BioFlex 5710 é o material que apresenta a variação mais acentuada dos valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  (mesmo logo nos primeiros dias) enquanto que os outros materiais apresentam valores com variações menos acentuadas. Porém, todos os materiais apresentam um comportamento semelhante característico: diminuição dos valores de  $\sigma_{\text{máx.flexão}}$  ao longo do tempo de imersão em água do mar.

Na Figura 38 são apresentados os resultados aos valores do  $E_{\text{flexão}}$  versus o tempo de imersão em água do mar, para os vários materiais ensaiados: PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 22-08, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710.

Todos os materiais em análise, com a exceção do PEAD reciclado, foram estudados até 150 dias de tempo de imersão em água do mar, sendo que este último foi possível estudar durante 300 dias de imersão em água (PEAD reciclado).

É possível observar que o BioFlex apresenta a maior variação dos valores de  $E_{flexão}$ , mesmo os primeiros dias imersão em água do mar. Os restantes materiais, por sua vez, apresentam uma variação de valores mais baixa e próxima uns dos outros. Todos os materiais apresentam uma diminuição dos valores de  $E_{flexão}$  com o aumento do tempo de imersão em água.

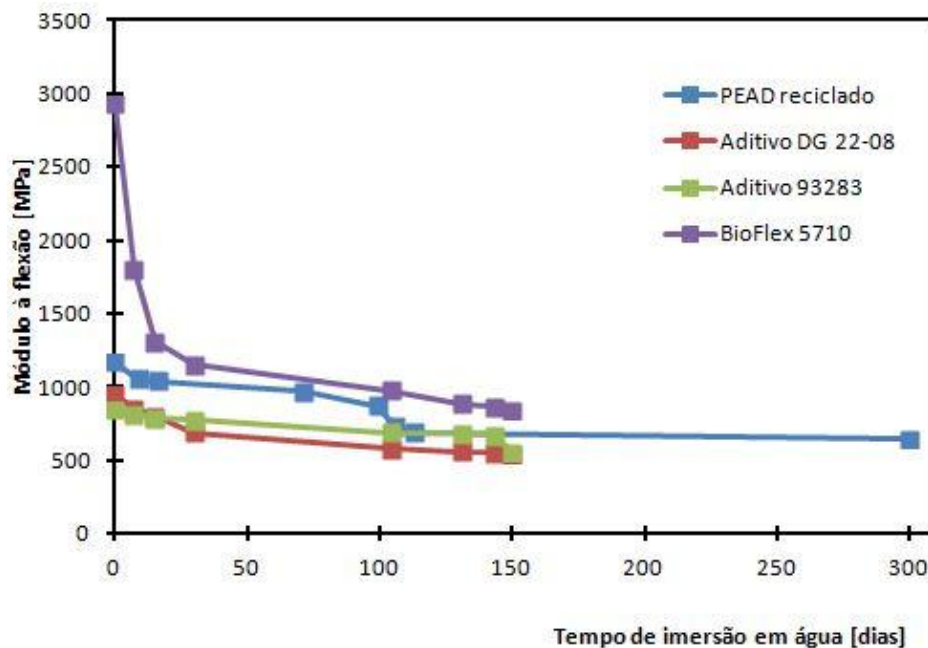


Figura 38- Valores módulo de elasticidade em flexão *versus* tempo de imersão em água, para os vários materiais testados.

#### 4.2.2 Tração

Na Tabela 11 são apresentados os valores de  $\sigma_{máx.tração}$  bem como os valores de  $E_{tração}$ , para zero dias de tempo de imersão em água do mar. Na Figura 39 são apresentadas as curvas típicas da  $\sigma_{máx.tração}$  *versus* extensão, para zero dias de tempo de imersão em água do mar, para os vários materiais testados: PEAD reciclado, PEAD com o aditivo DG 22-08, PEAD com o aditivo 93283 e BioFlex 5710.

Tabela 11- Valores de tensão máxima em tração e valores de módulo de elasticidade, para 0 dias de imersão em água do mar.

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]		$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
0	PEAD reciclado	610,67	23,45	22,46	1,13
	DG 12-08	736,81	51,27	21,17	0,86
	93283	761,84	77,06	25,01	5,98
	BioFlex 5710	1666,50	56,19	22,46	1,13

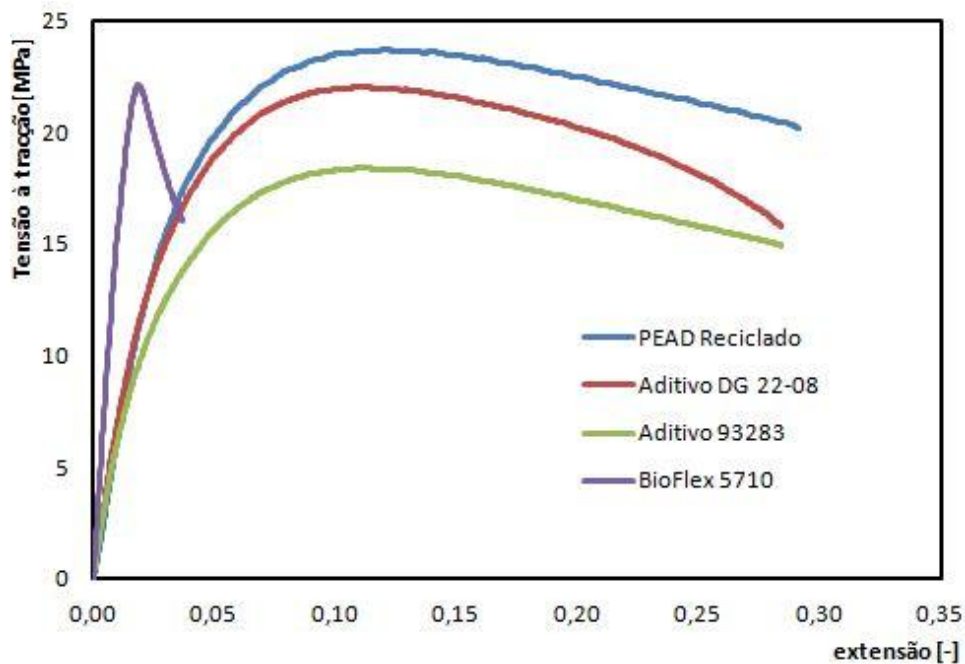


Figura 39- Curvas típicas  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus extensão, para 0 dias de imersão em água do mar.

Na Figura 40 são apresentadas as curvas típicas da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus extensão, para os provetes imersos em água do mar até 105 dias, para os vários materiais processados. Na Tabela 12 pode-se ver os valores da  $\sigma_{\text{tração}}$  e do  $E_{\text{tração}}$ , para 105 dias de tempo de imersão em água do mar, assim como os valores de variação das propriedades mecânicas relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 11). É possível observar que para tempos de imersão de 105 dias, o material BioFlex 5710 apresenta uma variação do  $E_{\text{tração}}$  de 45,86% sendo esta a variação mais elevada. Por outro lado, o PEAD com aditivo 93283 é o material que apresenta a maior variação da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$ , cerca de 46,84%.

Tabela 12 -  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$ , para 105 dias de tempo de imersão em água do mar.

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Varição de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Varição de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
105	PEAD reciclado	391,73	69,39	-35,85	12,39	2,80	-44,85
	DG 12-08	505,44	39,41	-31,40	12,27	2,60	-42,05
	93283	13,30	2,20	-39,68	459,54	35,55	-46,84
	BioFlex 5710	391,73	69,39	-45,86	902,26	166,08	-29,51

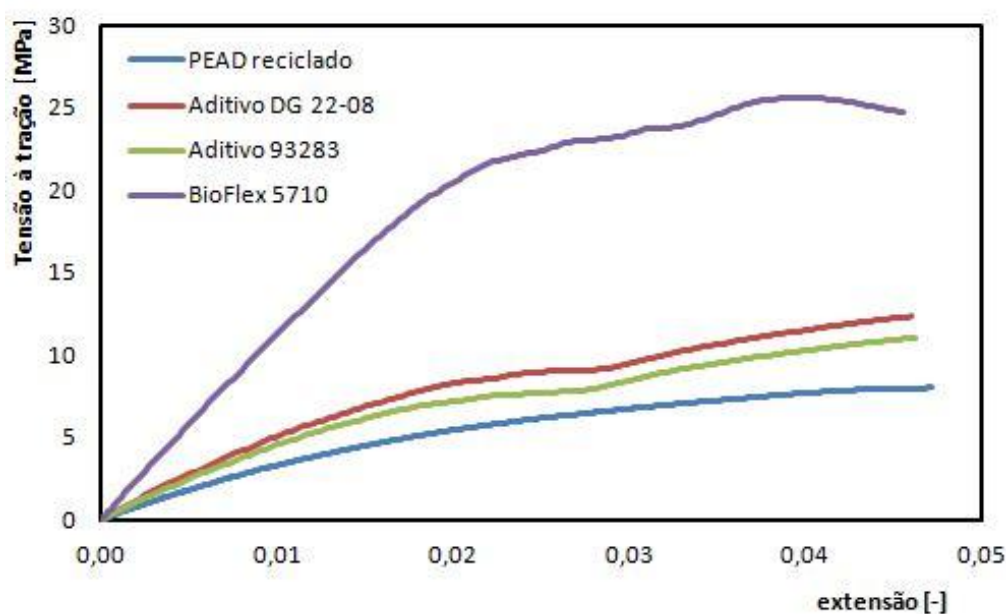


Figura 40-  $\sigma_{\text{tração}}$  versus extensão para 105 dias de imersão em água do mar.

Na Figura 41,

Figura 42, Figura 43 e Figura 44 são apresentadas as curvas de variação da  $\sigma_{\text{tração}}$  versus o tempo de imersão em água do mar e indicados os valores de desvio padrão para todos os materiais processados.

Na

Figura 42, Figura 43 e Figura 44 são também apresentadas as curvas de  $\sigma_{\text{tração}}$  versus o tempo de exposição solar para o PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e o material biodegradável BioFlex 5710.

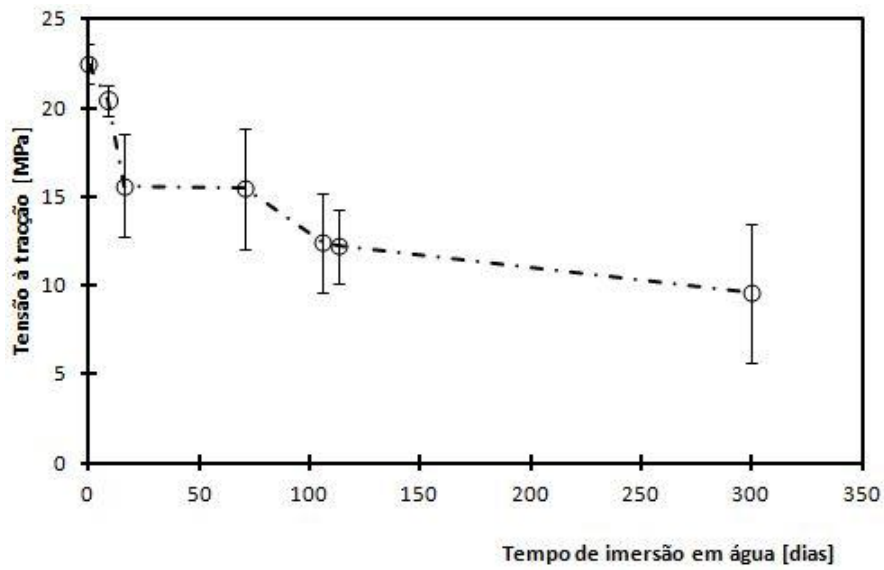


Figura 41 -  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus tempo de imersão em água do mar para o material PEAD reciclado.

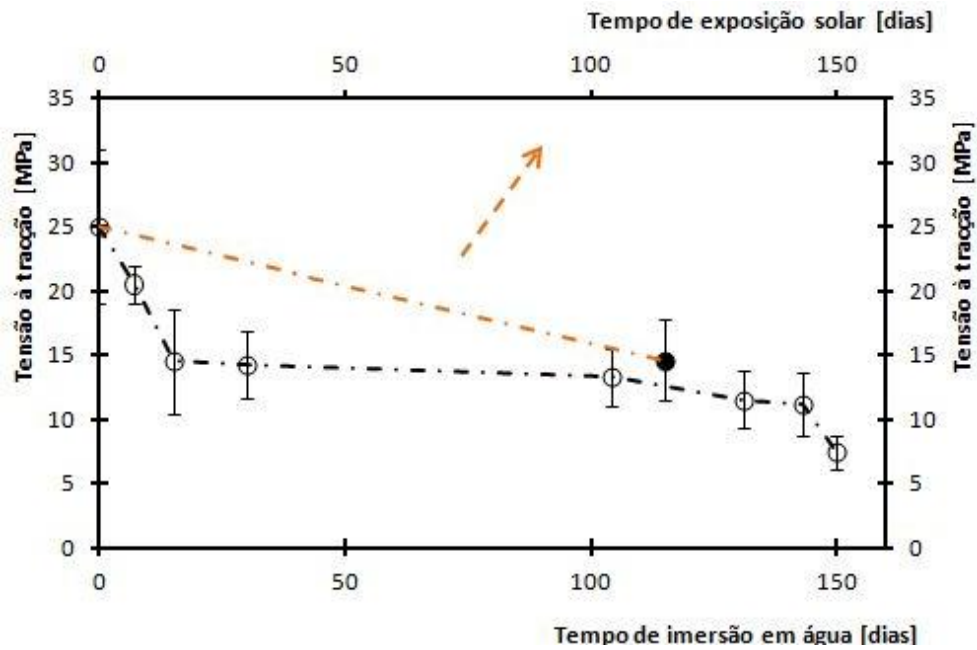


Figura 42-  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus tempo de imersão em água do mar para o PEAD com aditivo 93283.

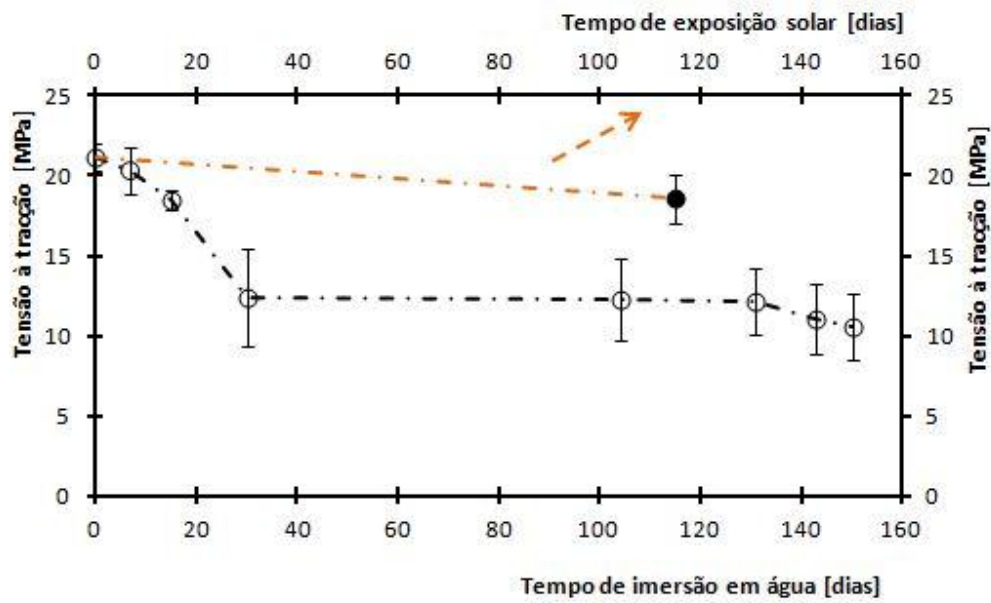


Figura 43-  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus tempo de imersão em água para o aditivo DG 12-08.

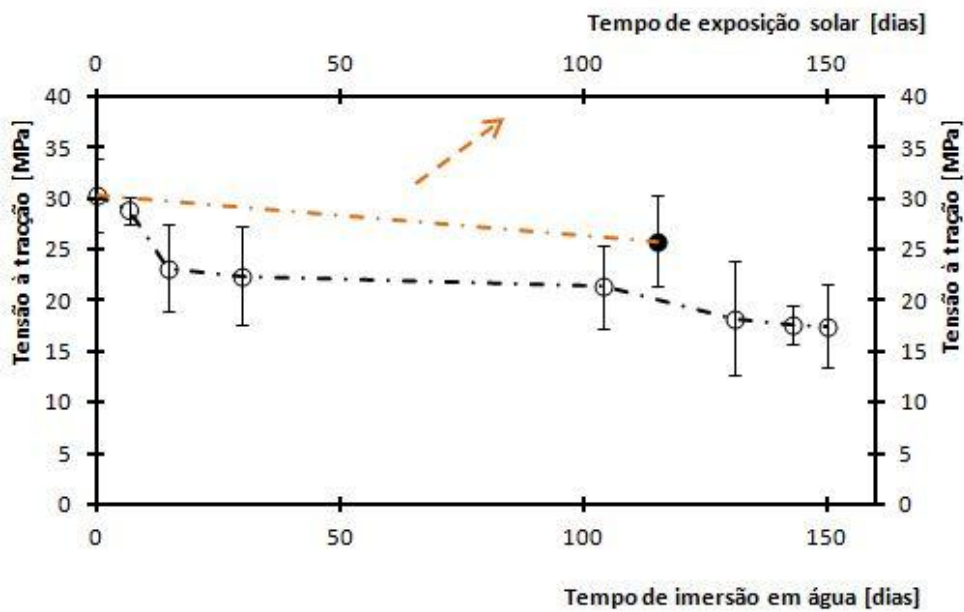


Figura 44-  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  versus tempo de imersão em água do mar para o material BioFlex 5710

Na Figura 45, Figura 46, Figura 47 e Figura 48 são apresentadas as curvas do  $E_{\text{tração}}$  versus o tempo de imersão em água do mar e indicados os valores de desvio padrão para todos os materiais em estudo.

Na Figura 46, Figura 47 e Figura 48 são apresentadas, além das curvas de variação da média do módulo de elasticidade versus o tempo de imersão em água do

mar, as curvas de tensão média máxima *versus* o tempo de exposição solar para o PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e o BioFlex 5710.

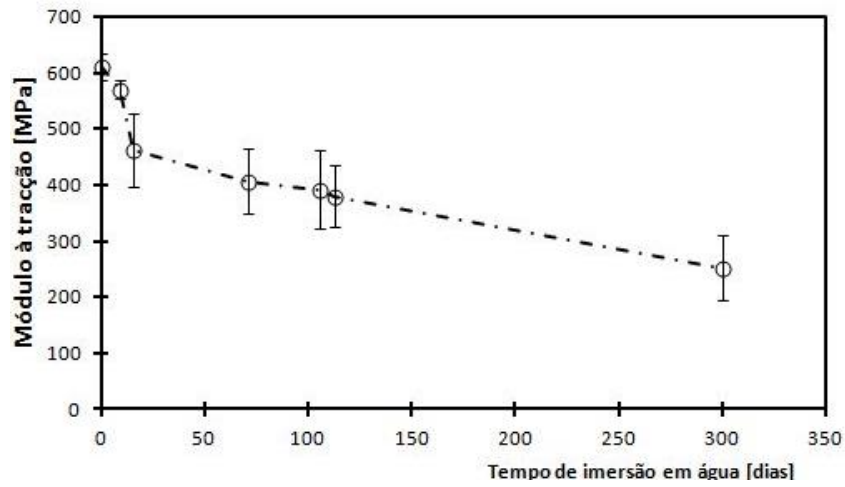


Figura 45-  $E_{\text{tração}}$  *versus* tempo de imersão em água do mar para o PEAD reciclado.

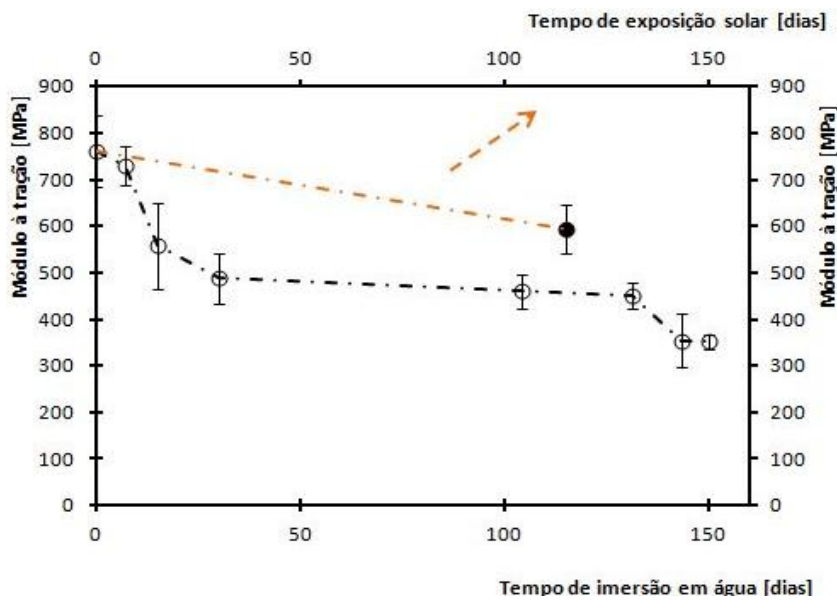


Figura 46-  $E_{\text{tração}}$  *versus* tempo de imersão em água para o aditivo 93283.

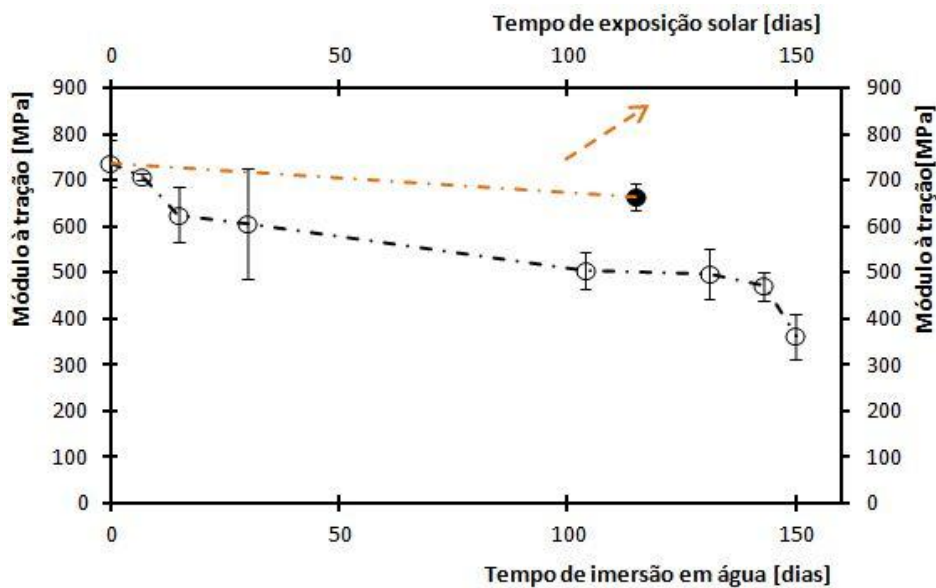


Figura 47-  $E_{\text{tração}}$  versus tempo de imersão em água para o aditivo DG 12-08.

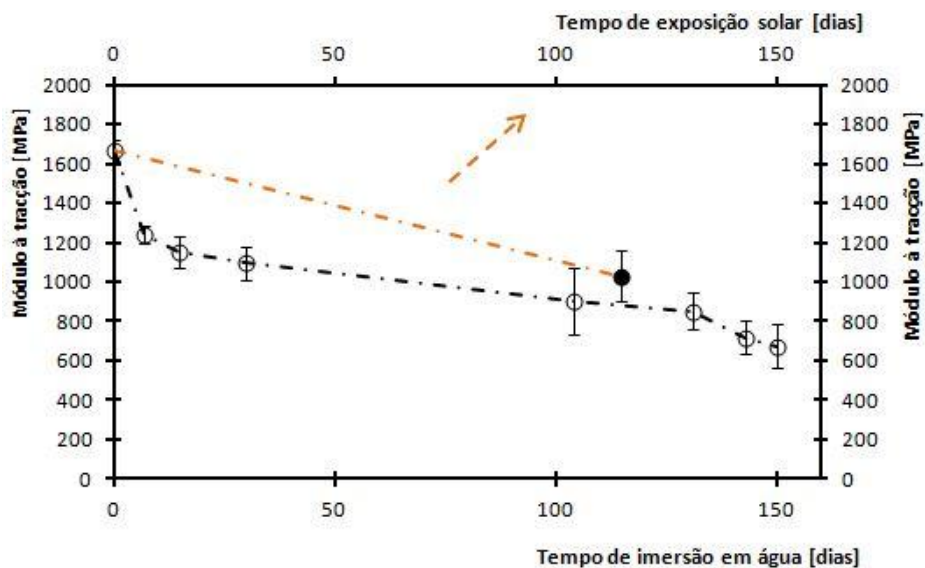


Figura 48-  $E_{\text{tração}}$  versus tempo de imersão em água para o material BioFlex 5710.

Na Tabela 13 são apresentadas os resultados de  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  e de  $E_{\text{tração}}$  para os diferentes materiais processados (8 dias de tempo de imersão em água do mar), sendo igualmente apresentados os valores relativos à variação das propriedades mecânicas, relativamente aos resultados obtidos para zero dias de tempo de imersão em água do mar (Tabela 11).

Desta forma, é possível observar que o BioFlex 5710 foi o material que apresentou a variação mais acentuada do  $E_{\text{tração}}$  enquanto o PEAD com aditivo 93283 foi o que apresentou a maior variação de  $\sigma_{\text{máx.tração}}$ , tendo apresentado valores de 25,70% e 18,01% respetivamente.

Quanto ao material que registou menor variação, foi o PEAD com aditivo DG 12-08 cujo  $E_{\text{tração}}$  diminuiu 3,91% e a  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  apresentou uma diminuição do seu valor de 4,25%, quando comparados com os valores obtidos para zero dias.

**Tabela 13-  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$ , para 8 dias de imersão em água do mar.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Varição de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Varição de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
8	PEAD reciclado	570,28	15,88	-6,61	20,42	0,86	-9,09
	DG 12-08	707,98	8,47	-3,91	20,27	1,47	-4,25
	93283	729,66	41,07	-4,22	20,51	1,44	-18,01
	BioFlex 5710	1238,13	42,21	-25,70	28,85	1,38	-4,89

Na Tabela 14 pode-se observar os resultados de  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$ , para 15 dias de tempo de imersão em água do mar. À semelhança do que se observou na tabela anterior, o comportamento dos materiais manteve-se, no sentido em que o material que apresentou menor variação foi o PEAD com aditivo DG 12-08. Assim como BioFlex 5710 manteve a variação de  $E_{\text{tração}}$  mais elevada (30,71%) e o PEAD com aditivo 93283 tem uma variação da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  de 41,98%.

**Tabela 14-  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$ , para 15 dias de imersão em água do mar.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{máx.tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Varição do $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Varição da $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
15	PEAD reciclado	462,17	64,78	-24,32	15,63	2,86	-30,44
	DG 12-08	625,14	59,52	-15,16	18,48	0,64	-12,69
	93283	729,66	41,07	-26,70	20,51	1,44	-41,98
	BioFlex 5710	1238,13	42,21	-30,71	28,85	1,38	-23,59

Na Tabela 15 são apresentados os resultados da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  e do  $E_{\text{tração}}$ , para 71 dias de tempo de imersão em água do mar para todos os materiais testados.

É possível constar que a maior variação do  $E_{\text{tração}}$  e da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  foi registada para o material PEAD com aditivo 93283, com os valores de 35,87% e 42,94%

respetivamente. As menores variações das propriedades mecânicas, para este período de tempo de imersão em água do mar, correspondem ao  $E_{\text{tração}}$  do PEAD com aditivo DG 12-08 cujo valor foi de 17,82% e a  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  foi de 26,14% para o BioFlex 5710.

**Tabela 15-  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$  para 71 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 30 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{máx.tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
71	PEAD reciclado	406,40	57,92	-33,45	15,46	3,41	-31,17
30	DG 12-08	605,55	119,87	-17,82	12,41	3,03	-41,40
	93283	488,58	54,46	-35,87	14,27	2,62	-42,94
	BioFlex 5710	1093,60	85,16	-34,38	22,40	4,84	-26,14

Na Tabela 16 pode-se observar os resultados da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  e do  $E_{\text{tração}}$  para 113 dias de tempo de imersão em água do mar (no caso do PEAD reciclado), sendo que nos outros materiais o tempo de imersão em água do mar foi de 131 dias.

**Tabela 16-  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$  para 113 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 131 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
113	PEAD reciclado	379,41	54,51	-37,87	12,20	2,11	-45,70
131	DG 12-08	496,50	55,57	-32,62	12,12	2,06	-42,76
	93283	450,38	27,69	-40,88	11,55	2,23	-53,81
	BioFlex 5710	851,99	94,20	-48,88	18,20	5,59	-39,99

Os materiais que apresentaram uma maior variação de propriedades mecânicas em relação aos zero dias de tempo de imersão em água do mar, para o  $E_{\text{tração}}$  foi o material biodegradável BioFlex 5710 (48,88%). Por outro lado, o PEAD com aditivo 93283, aos 131 dias já apresentava uma variação de tensão média máxima superior a 50% relativamente aos resultados obtidos para zero dias de imersão em água do mar

(53,81%). Os materiais que apresentaram uma variação menor, no caso do módulo de elasticidade foi o PEAD com aditivo DG 12-08 que apresentou o valor mais baixo (32,62%). No caso da tensão média máxima foi o BioFlex 5710 (39,99%) que apresentou o menor valor.

Na Tabela 17 pode-se observar os resultados obtidos da  $\sigma_{\text{tração}}$  e do  $E_{\text{tração}}$  para todos os materiais com exceção do PEAD reciclado. Os menores valores do módulo de elasticidade obtidos foram obtidos com o PEAD com aditivo DG 12-08 (36,14%), enquanto que os valores de tensão média máxima foram obtidos com BioFlex 5710 (42,17%)l.

**Tabela 17-  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$  para 143 dias de imersão em água do mar para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
143	<b>DG 12-08</b>	470,51	31,70	-36,14	11,04	2,22	-47,84
	<b>93283</b>	354,64	57,71	-53,45	11,16	2,45	-55,39
	<b>BioFlex 5710</b>	718,10	83,02	-56,91	17,54	1,90	-42,17

Na Tabela 18 é possível observar os valores de  $\sigma_{\text{tração}}$  e do  $E_{\text{tração}}$  obtidos para o PEAD reciclado, para 300 dias de imersão em água do mar e que os restantes materiais forma obtidos para 150 dias de tempo de imersão em água.

Verifica-se então que o material BioFlex apresenta uma variação do  $E_{\text{tração}}$  de 59,53% relativamente aos resultados obtidos para 0 dias, sendo esta variação superior à registada para o PEAD reciclado e para 300 dias de imersão em água (58,69%). O mesmo se pode observar para os valores de  $\sigma_{\text{tração}}$ , sendo que a maior variação se registou para o PEAD com aditivo 93283 com o valor de 70,21% (150 dias de imersão), o que é superior aos 57,46% registados para o PEAD reciclado para os 300 dias de imersão em água do mar.

O PEAD com o aditivo DG 12-08 foi o que registou a variação mais baixa em relação ao estado inicial (0 dias) tanto para o  $E_{\text{tração}}$  como para a  $\sigma_{\text{tração}}$ , 50,98% e 49,95% respetivamente.

**Tabela 18 -  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$  para 300 dias de imersão em água do mar para o PEAD reciclado e 150 dias para os restantes materiais.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
300	PEAD reciclado	252,27	58,44	-58,69	9,56	3,93	-57,46
150	DG 12-08	361,16	50,02	-50,98	10,60	2,07	-49,95
	93283	352,19	14,96	-53,77	7,45	1,27	-70,21
	BioFlex 5710	674,50	107,74	-59,53	17,47	4,07	-42,40

Na Tabela 19 são apresentados os valores registados para 115 dias de exposição solar dos provetes de PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e o BioFlex 5710 com uma média de temperatura na ordem dos 18°C e elevados níveis de radiação UV (IPMA, 2017), durante os dias 18 de Julho e 10 de Novembro.

É assim possível constatar que o PEAD com aditivo 93283 teve a maior variação da  $\sigma_{\text{tração}}$  (41,62%) e do  $E_{\text{tração}}$  (38,13%) foi o BioFlex 5710. O PEAD com aditivo DG 12-08 foi o que apresentou a menor variação (12,41%) no valor da  $\sigma_{\text{máx.tração}}$ , assim como para o  $E_{\text{tração}}$  (9,76%).

Por indisponibilidade de matéria-prima, não foi realizado o estudo de exposição aos raios solares do PEAD reciclado.

**Tabela 19-  $\sigma_{\text{tração}}$  e  $E_{\text{tração}}$  para 115 dias de exposição solar.**

Imersão em água do mar [dias]	Material	$E_{\text{tração}}$ [MPa]			$\sigma_{\text{tração}}$ [MPa]		
		Média	Desvio Padrão	Variação de $E_{\text{tração}}$ (%)	Média	Desvio Padrão	Variação de $\sigma_{\text{tração}}$ (%)
115	DG 12-08	664,92	28,34	-9,76	18,54	1,53	- 12,41
	93283	592,93	52,73	-22,17	14,60	3,15	- 41,62
	BioFlex 5710	1031,01	129,81	-38,13	25,84	4,47	-14,81

#### 4.2.2.1 Resultados Globais

Na Figura 49 são apresentados os valores de  $\sigma_{\text{tração}}$  em função do tempo de imersão em água do mar, para os vários materiais processados: PEAD reciclado,

PEAD com aditivo 93283, PEAD com aditivo DG 12-08 e BioFlex 5710, permitindo assim uma análise comparativa em função do tempo de imersão. O único material que foi possível estudar durante 300 dias foi o PEAD reciclado, enquanto que os outros foram estudados para tempos máximos de imersão em água de 150 dias.

Observa-se assim que o material que apresenta a maior diminuição do valor de  $\sigma_{\text{máx.tração}}$  é o PEAD com aditivo DG 12-08, para tempos de imersão em água 150 dias e para todos os materiais. O material biodegradável BioFlex 5710, apesar de apresentar uma variação significativa nos primeiros dias de imersão em água, apresenta valores semelhantes de  $\sigma_{\text{tração}}$  superiores aos restantes materiais.

Relativamente aos valores do  $E_{\text{tração}}$  versus o tempo de imersão em água do mar, tal como de se pode observar na Figura 50, os materiais PEAD reciclado, PEAD com aditivo 93283 e PEAD com aditivo DG 12-08 apresentam valores muito semelhantes para 150 dias, enquanto que o BioFlex 5710 mantém os valores de  $E_{\text{tração}}$  superiores, mesmo tendo sido registado uma variação significativa das suas propriedades nos primeiros dias.

É de salientar, que nos primeiros dias de imersão em água, todos os materiais registam a maior variação (decrecente) dos seus valores, permanecendo mais estáveis a partir dos 30 dias.

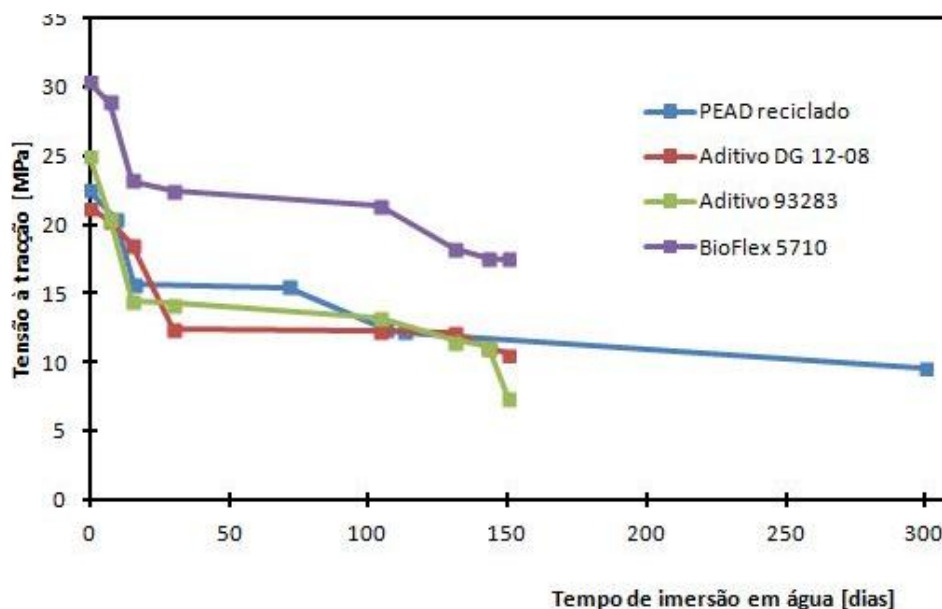


Figura 49 - Valores tensão máxima em tração versus tempo de imersão em água, para os vários materiais testados.

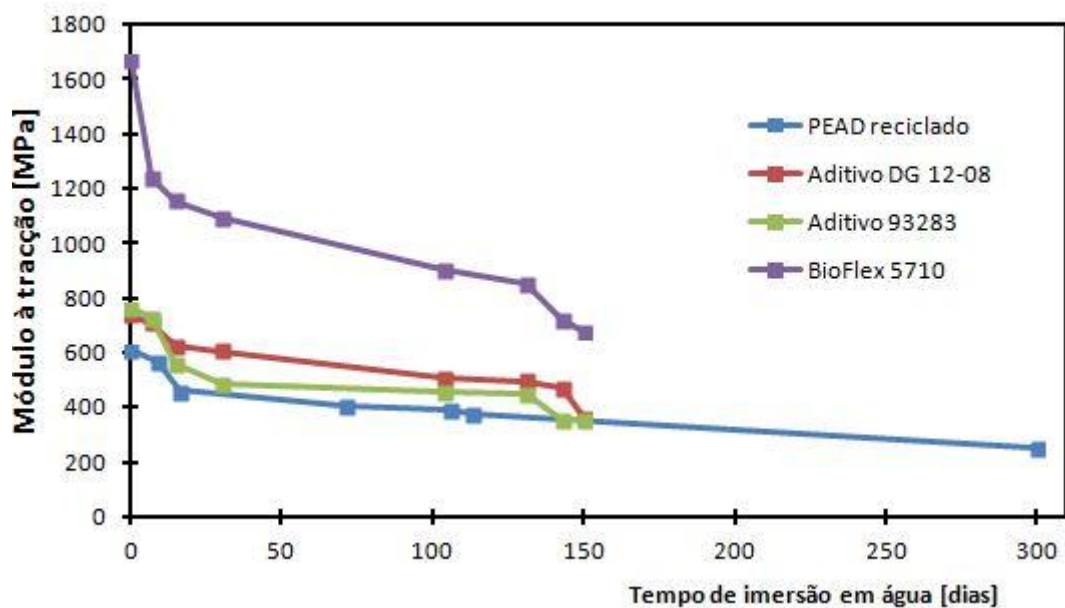


Figura 50- Valores módulo de elasticidade em flexão *versus* tempo de imersão em água, para os vários materiais testados.

## **Capítulo 5    Caso de Estudo**

Neste Capítulo são apresentadas algumas simulações efetuadas com recurso ao SolidWorks® para os vários dias de imersão em água. A simulação visa essencialmente prever o comportamento do alcatruz aquando da sua retirada da água do mar para manutenção de cordas e outros trabalhos, sendo que o alcatruz é posteriormente colocado em alto mal.

Assim, normalmente os alcatruzes são armazenados junto no solo, com uma altura máxima de 6 alcatruzes, cada um deles com o peso aproximadamente de 2,6 kg, ou seja o alcatruz que está em contacto com o solo está sujeito a uma força (peso) de 130N.

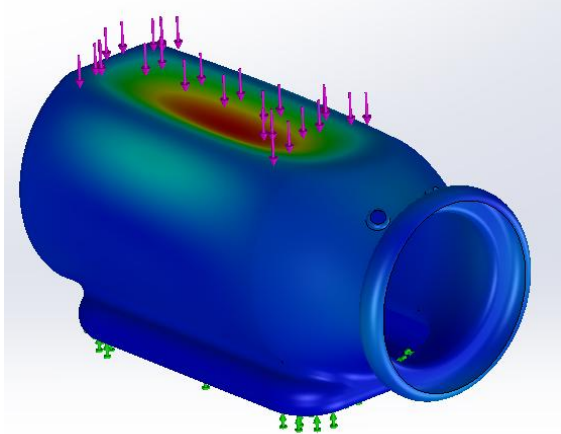
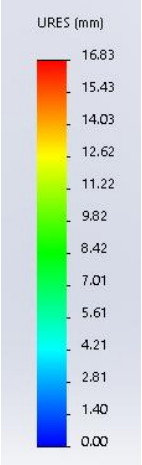
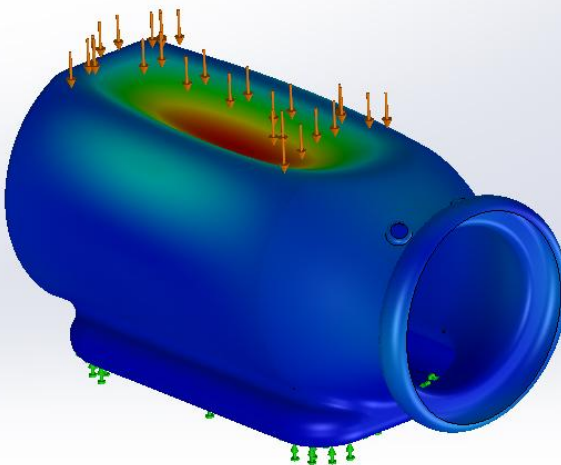
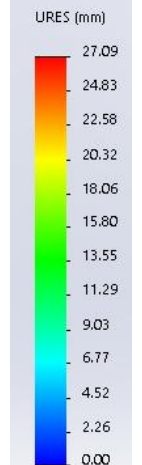
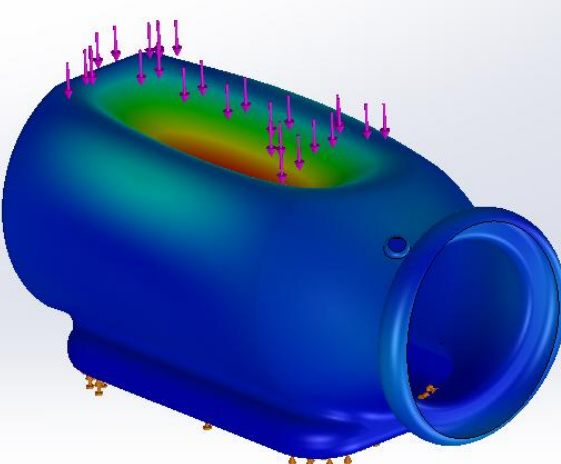
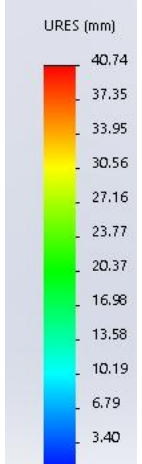
O estudo foi efetuado considerando os valores obtidos para as condições iniciais de zero dias de imersão, 113 e 300 dias para o PEAD reciclado e 150 dias para o PEAD com aditivo 93283, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710, de forma a poder ser efetuada uma análise comparativa entre todos. Na Tabela 20 pode-se verificar as condições que foram consideradas para este estudo. No anexo B podem ser consultadas as informações sobre a malha utilizada na simulação.

**Tabela 20- Características dos materiais estudados na simulação em SolidWorks®.**

<b>Material</b>	<b>Densidade</b>	<b>N.º dias em água</b>	<b>Tensão à tração [MPa]</b>	<b>Módulo à tração [MPa]</b>
<b>PEAD reciclado</b>	0,9525	0	22,46	610,67
		113	12,20	379,41
		300	9,56	252,27
<b>Aditivo DG 22-08</b>	0,9412	0	21,17	736,81
		150	10,60	361,16
<b>Aditivo 93283</b>	0,9580	0	25,01	761,84
		150	7,45	352,19
<b>BioFlex 5710</b>	1,3307	0	30,33	1666,50
		150	17,47	674,50

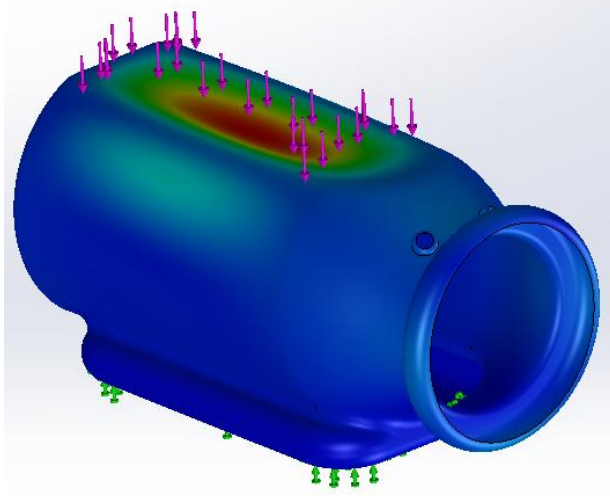
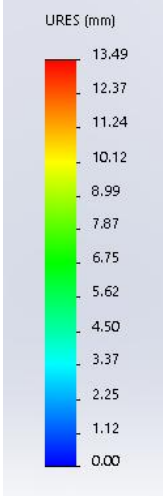
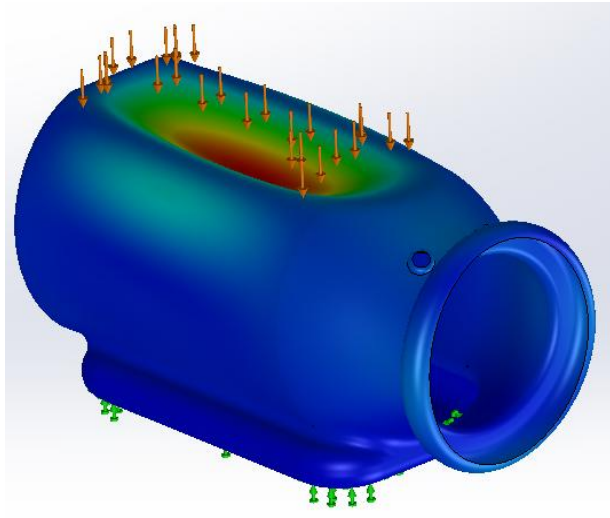
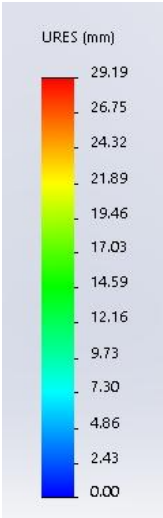
## 5.1 Resultados obtidos para o PEAD reciclado

Tabela 21- Resultados obtidos para as simulações de 0, 113 e 300 dias para o PEAD reciclado (F = 130 N).

Dias	Simulação	Deformação [mm]
0		
113		
300		

## 5.2 Resultados obtidos para PEAD com aditivo 93283

Tabela 22- Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com aditivo 93283 (F = 130 N).

Dias	Simulação	Deformação [mm]
0		
150		

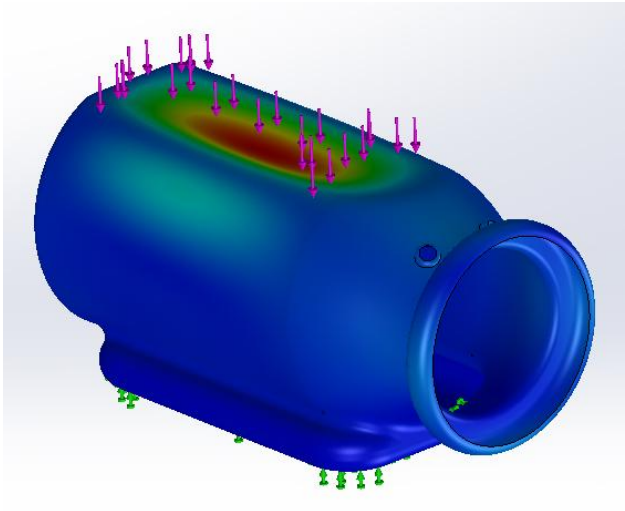
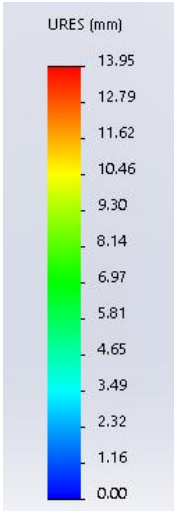
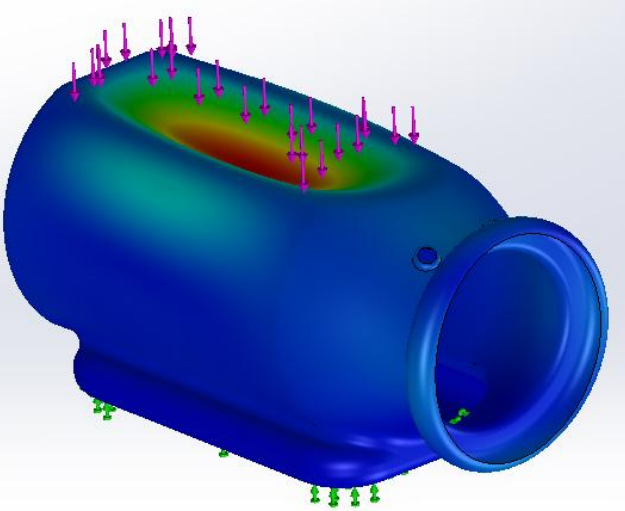
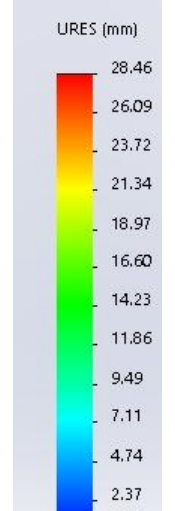
Na Tabela 21 são apresentadas os resultados relativos às simulações efetuadas para o material PEAD reciclado, obtidos para zeros dias de tempo de imersão em água do mar, 113 dias (valor mais aproximado dos outros materiais em estudo - 150 dias) e 300 dias (valor máximo de tempo de imersão em água). Para tempos de imersão de zero dias, o alcatruz mais solicitado (da pilha de alcatruzes), apresenta uma deformação de 16,8 mm, 27,1 para 113 dias e para os 300 dias de imersão apresenta uma deformação de 40,8 mm.

Na Tabela 22 são apresentados os resultados relativos às simulações efetuadas para o material PEAD com aditivo 930283. Para tempos de imersão de zero

dias, foram obtidos valores de deformação de 13,5mm e, para tempos de 150 dias foram obtidos valores de 29,2 mm.

### 5.3 Resultados obtidos para PEAD com aditivo DG 12-08

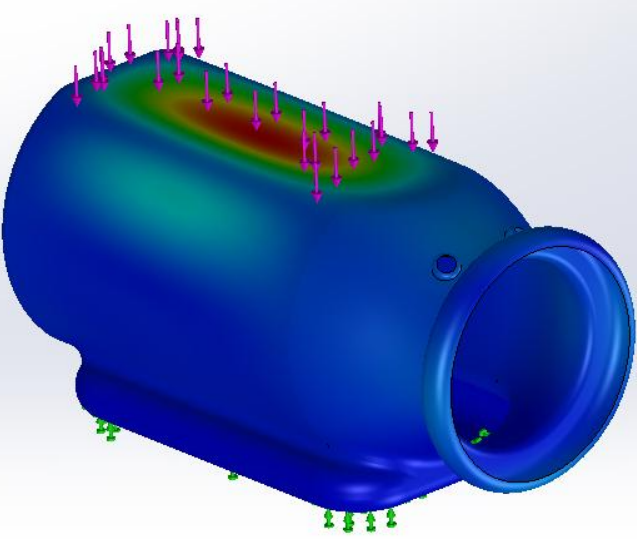
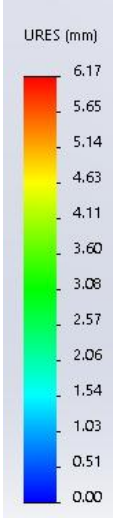
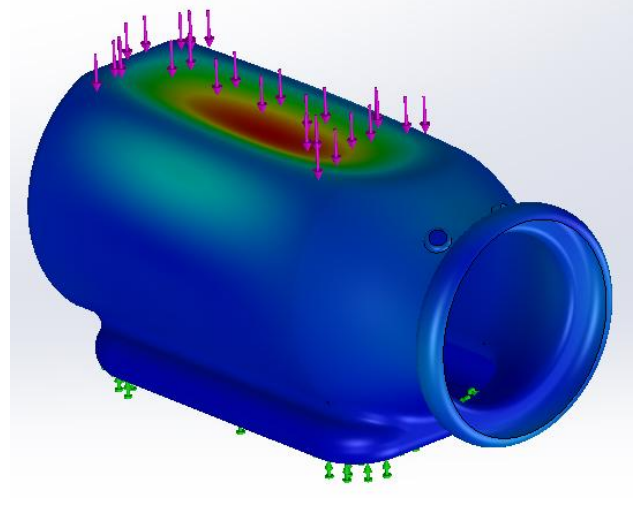
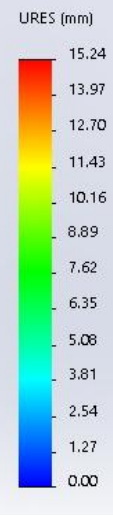
Tabela 23 - Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com aditivo DG 12-08 (F = 130 N).

Dias	Simulação	Deformação [mm]
0		
150		

Na Tabela 23 são apresentadas os resultados relativos às simulações efetuadas para o material PEAD com aditivo DG 12-08. Para tempos de imersão de zero dias zero dias de tempo de imersão em água do mar a deformação foi de 14.0 mm e, para 150 dias de tempo de imersão a deformação e 28,5 mm.

## 5.4 Resultados obtidos para o material biodegradável BioFlex 5710

Tabela 24- Resultados obtidos para as simulações de 0 e 150 dias para o PEAD com material biodegradável BioFlex 5710 (F = 130 N).

Dias	Simulação	Deformação [mm]
0		
150		

No caso de se utilizar o material BioFlex 5710, para tempos de imersão de zero dias e 150 dias, foram obtidos valores de deformação de 6,2 mm e de 15,2 mm respectivamente.

## **Capítulo 6 Conclusão**

## **6.1 Conclusões**

No estudo realizado foram processados e caracterizados em termos físicos e mecânicos os seguintes materiais: PEAD reciclado, PEAD com aditivo DG 12-08, PEAD com aditivo 93283 e BioFlex 5710. Os materiais utilizados no estudo foram processados em ambiente industrial.

Relativamente caracterização mecânica e física foi possível concluir:

### **Propriedades físicas**

#### **Densidade**

Foram obtidos os valores de densidade dos diferentes materiais, processados em ambiente industrial. Os valores obtidos não apresentaram variações significativas pois os materiais foram processados em condições otimizadas. O bioFlex 5710 apresentou valores médios de densidade significativamente superiores aos outros materiais.

#### **Curvas de absorção de água do mar**

Os diferentes materiais apresentaram curvas de absorção de água distintas. O material biodegradável apresentou valores de absorção claramente superiores aos outros materiais. O material que apresentou os menores valores de absorção de água foi o PEAD + aditivo 93283.

Os diferentes materiais podem ser classificados como Fickiano clássico (PEAD reciclado) como pseudo-fickiano (Biodegradável, PEAD + Aditivo 93283, PEAD + Aditivo DG 12-08).

### **Propriedades mecânicas**

Foram obtidos os resultados das propriedades mecânicas (tensão e módulo) para diferentes dias de tempo de imersão em água e, também para tempos de exposição solar de 115 dias. Foi possível observar que para tempos maiores de imersão em água, tanto a resistência mecânica com módulo diminuíram. O mesmo comportamento foi observado para tempos de exposição solar de 115 dias.

### **Resultados à Flexão em 3 pontos**

Os valores obtidos para a tensão média máxima à flexão, para 150 dias de tempo de imersão em água do mar, apresentam valores semelhantes. A variação mais acentuada ocorreu nos primeiros 30 dias de imersão em água do mar, sendo que para tempos de imersão em água superiores a variação é muito menos significativa. O material que apresenta o valor mais baixo de tensão média máxima à flexão é o PEAD com aditivo DG 22-08, para 150 dias de imersão em água do mar.

À semelhança do que se regista para os valores de tensão média máxima, também os valores do módulo de elasticidade apresentam uma diminuição acentuada nos primeiros 30 dias imersão em água do mar, sendo que para tempos de imersão em água superiores a variação é muito menos significativa.

Os materiais que apresentam os valores de módulo de elasticidade à flexão mais baixos, para 150 dias de imersão, são os seguintes materiais: PEAD com aditivo 93283 e o PEAD com aditivo DG 22-08.

### **Resultados à tração**

Os valores obtidos para a tensão média máxima e para o módulo de elasticidade à tração, apresentaram uma diminuição mais acentuada nos primeiros 30 dias de imersão em água do mar, sendo que para tempos de imersão em água superiores a variação é muito menos significativa.

O material que apresenta menor valor de  $\sigma_{\text{tração}}$ , para os 150 dias de tempo de imersão em água do mar, é o PEAD com aditivo 93283. Relativamente ao  $E_{\text{tração}}$ , para o mesmo tempo de imersão em água, os materiais PEAD reciclado, o PEAD com aditivo 93283 e o PEAD com aditivo DG 12-08, apresentam valores semelhantes.

Em resumo, no caso dos resultados dos ensaios à flexão é possível observar que o material que perde mais propriedades é o biodegradável BioFlex 5710, relativamente aos valores obtidos para 0 dias de imersão em água. No entanto e para o caso dos resultados obtidos nos ensaios à tração, os materiais que apresentam uma perda de propriedades mais acentuada, em função do tempo de imersão em, são os que tem por base o PEAD.

### **Caso de Estudo**

Neste estudo foi possível observar que o alcatruz produzido com o PEAD com aditivo 93283 é o que apresenta maiores valores de deformação, pra 150 dias de tempo de imersão em água do mar.

## **6.2 Trabalhos futuros**

Tendo em consideração todo o trabalho anteriormente apresentado, considera-se que poderão ser efetuados os seguintes trabalhos em termos futuros:

- Testes de caracterização mecânica para diferentes temperaturas de água do mar, podendo assim aproximar-se mais das condições reais em que se encontram os alcatruzes e perceber quais as implicações que trás na degradação do material;
- Testes de envelhecimento com raios UV e em areia, de forma a perceber qual o impacto da utilização destes materiais na redução na poluição das praias;
- Realização de testes de DMA para otimizar as temperaturas de processamentos dos materiais,
- Previsão e simulação do comportamento dos alcatruzes no futuro com vista a fazer uma estimativa dos anos que demoraria para se degradarem em alto mar com os materiais utilizados.

## **Referências bibliográficas**

**Açores, Governo Regional dos. 2004.** Governo dos Açores. [Online] Governo Regional dos Açores, 2004. [Citação: 22 de Fevereiro de 2017.] <https://www.azores.gov.pt>.

**Agrobiofilm. 2013.** *Plásticos Biodegradáveis para Agricultura*. s.l. : Silvex, 2013.

**ASSOCIATION, OXO-BIODEGRADABLE PLASTICS. 2012.** PLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT. 2012.

**ASTM. 1999.** *ASTM STANDARDS PERTAINING TO THE BIODEGRADABILITY AND COMPOSTABILITY OF PLASTICS*. Filadélfia : American Society for Testing and Materials., 1999. 0-803 1-2720-0.

**Bernardo e Simões, Lda. 2009.** Bernardo e Simões, Lda. [Online] 2009. [Citação: 14 de Fevereiro de 2017.]

**Brown, Roger P. 1988.** *Handbook of Plastic Test Methods*. Nova Iorque : The Plastics and Rubber Institute, 1988. 0-582-03015-3.

**Chiellini, Emo, Corti, Andrea e D'Antone, Salvatore. 2008.** Oxo-biodegradable full carbon backbone polymers - biodegradation behavior of thermal oxidized polyethylene in an aqueous medium. 2008.

**Cruz, A. Correia da e Carreira, João. 1992.** *Ensaios Mecânicos*. Lisboa : Edições Técnicas do Instituto de Soldadura e Qualidade, 1992. 9-9228-0001-2.

**Davim, J.P. e Magalhães, A. G. 1992.** *Ensaios Mecânicos e tecnológicos*. Águeda : Estante Editora, 1992. 60010/92.

**Deconinck, Sam e De Wild, Bruno. 2013.** *Benefits and Challenges os Bio and Oxo-biodegradable Plastics*. Bélgica : O.W.S, 2013.

**Demoustier - Manutenção e Conservação, Lda. 2016.** d2W. *Demoustier*. [Online] 2016. [Citação: 20 de 01 de 2017.] <http://www.demoustier.pt/>.

**DGRM. 2017.** Direcção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos. [Online] 11 de 01 de 2017. [Citação: 13 de 01 de 2017.] <https://www.dgrm.mm.gov.p>.

**Europe, Plastics. 2016.** FuturEnergia. *European Schoolnet*. [Online] 2016. [Citação: 25 de 01 de 2017.] [www.futurenergia.org](http://www.futurenergia.org).

**Farmi-Reparações,Lda.** [www.farmi.pt](http://www.farmi.pt). [Online]

**Ferreira, José Martins, et al. 2016.** Mechanical Properties of Woven Mat Jute/Epoxy Composites. s.l. : SciElo Brazil, 2016.

**Fontanella, Stéphane, et al. 2010.** Comparison of the biodegradability of various polyethylene films containing pro-oxidant additives. 2010.

**Hirano, Hiroyoki. 1996.** *5S FOR OPERATORS - 5 PILLARS OF THE VISUAL WORKPLACE*. s.l. : TAYLOR & FRANCIS INC, 1996.

- Hirano, Hiroyuki. 1995.** *5 Pillars of the Visual Workplace*. s.l. : CRC Press, 1995.
- iheto.** www.iheto.com. [Online]
- INE. 2016.** *Estatísticas da Pesca 2015*. Lisboa : INE - Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2016. ISBN 978-989-25-0354-7.
- Inovation, Robinson Packin. 2017.** Robinson Packin Inovation. [Online] Robinson Plc 2017, 2017. [Citação: 01 de 02 de 2017.] <http://robinsonpackaging.com>.
- IPMA. 2017.** Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [Online] República Portuguesa, 2017. [Citação: 25 de Janeiro de 2017.] <http://www.ipma.pt/pt/index.html>.
- Leman, Z., et al. 2007.** Moisture absorption behavior of sugar palm fiber. s.l. : Elsevier, 2007.
- Mano, Eloisa Biasotto. 1991.** *Polímeros como Materiais de Engenharia*. São Paulo : Editora Edgard Blucher Lda., 1991.
- Moulding, Edward. 2010.** *5S A visual Control System for the Workplace*. Central Milton Keynes : AuthorHouse, 2010. 9781449029777.
- Pinto, João Paulo. Março de 2014.** *Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedoras* . s.l. : LIDEL, Março de 2014.
- PlasticsEurope. 2017.** Plastics The Mag. *The Magazine of Plastics and Inovation*. [Online] 2017. [Citação: 03 de 02 de 2017.] <http://www.plastics-themag.com/>.
- Pouzada, Carlos Bernardo e António. 1983.** *Introdução à Engenharia de Polímeros*. Braga : Universidade do Minho, 1983.
- Ratna, PAL, et al. 2012.** Effect of laminate thickness on moisture diffusion of polymer matrix composites in artificial seawater ageing. s.l. : Higher Education Press and Springer-Verlag, 2012.
- Roman, Ademar. 1995.** *Transformação do Polietileno - PEBD*. São Paulo : Érica, 1995. ISBN 85-7194-264-1.
- Rosato, Donald V. e Rosato, Dominck V. 1989.** *Blow Molding Handbook*. Nova Iorque : Hanser Publishers, 1989. 3-446-15071-4.
- Scotchmer, Andrew. 2008.** *5S KAIZEN IN 90 MINUTES*. s.l. : Management Books 2000, 2008.
- Teixeira, Isabel. 2013.** Doca Pesca - Portos e Lotas, S.A. [Online] 17 de Junho de 2013. [Citação: 13 de Janeiro de 2017.] <http://www.docapesca.pt/>.
- UALG. 2017.** Universidade do Algarve. *Páginas pessoais Universidade do ALgarve*. [Online] 2017. [Citação: 11 de 02 de 2017.] <http://w3.ualg.pt/~pjsilva/guias/principio%20de%20Arquimedes.htm>.



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

**Anexos**

## **Anexo A Fichas Técnicas Materiais**

## Symphony Plastics

Elstree House,  
Elstree Way,  
Borehamwood,  
Herts.  
WD6 1LE  
Tel: +44 20 8207 5900  
Fax: +44 20 8207 5960  
Email: [info@degradable.net](mailto:info@degradable.net)

**Descrição:** Masterbatch degradável com base em poliolefinas

**Referencia:** 93283 - Aditivo d2w para PEAD - IC

### Descrição

A função deste aditivo consiste em quebrar as ligações carbono – carbono no plástico, gerando uma redução do peso da cadeia molecular, uma eventual perda de resistência e de outras propriedades. Os plásticos com aditivo degradam-se sem risco para a natureza e transformam-se em H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e bio massa em quantidades reduzidas.

### Áreas de aplicação

Quase todos os filmes flexíveis e semirígidos de polietileno – soprado e cast, simples ou multicapa – podem ser fabricados utilizando a tecnologia d2w.

### Composição / Informação sobre os ingredientes

Masterbatch degradável com base em poliolefinas  
Fórmula: Proprietário  
Portador de poliolefina: 9002-88-4

### Especificações físicas / químicas

Aparência: peletes sólidas e secas  
Densidade específica: 0,925g/cm<sup>3</sup>  
Cor: Branca  
Temperatura de fusão: portador de poliolfina: 104-115° C  
Temperatura de decomposição: > 350° C  
Flash point: não determinado  
Temperatura de ignição: > 350° C  
Solubilidade (água): não

### Armazenamento

**Aditivo:** conservar em local fresco, fora de fontes de humidade e calor.  
Os plásticos fabricados com a tecnologia d2w<sup>tm</sup> mantêm-se estáveis ao longo de um período de tempo determinado.

Recomenda-se que os plásticos com aditivo sejam protegidos em filme espesso branco ou preto ou ainda em caixa de cartão e sejam armazenados num local fresco em que a temperatura não exceda os 30° C.

Nestas condições, o plástico com aditivo terá um prazo de vida útil garantido entre 18 e 24 meses.

### Packaging

Sacos: 25 kg.  
Paleta industrial: 1.000 kg.

### Legislação

Contacto alimentar: em conformidade com a directiva 2002/72/EC, e as suas revisões 2004/1/EC, 2004/19/EC, 2005/79/EC e 2007/19/CE, assim como o capítulo 21 Secção 177.1520 "Olefin Polymers" da FDA.

Toxicidade e eco toxicidade – Teste de crescimento de agrião: em conformidade com a norma EN 13432 – segundo a qual a taxa de germinação e a biomassa do composto deve ser superior a 90% em relação ao correspondente composto virgem.

### Segurança e manuseamento

O aditivo não é tóxico. Devem ser tomadas as devidas precauções relativas ao manuseamento de produtos químicos. Evitar a ingestão, inalação e contacto com a pele e os olhos. Não comer, beber ou fumar durante o manuseamento do material. Em caso de processamento térmico, prever o equipamento para a adequada extracção de vapores ou ventilação. Evitar a formação de poeira e sua inalação.

### País de origem

Europa

Última actualização: 22/7/2010

**Descrição:** Masterbatch degradável com base em poliolefinas

**Referencia:** DG12-08 - Aditivo d2w para PEAD

### Descrição

A função deste aditivo consiste em quebrar as ligações carbono – carbono no plástico, gerando uma redução do peso da cadeia molecular, uma eventual perda de resistência e de outras propriedades. Os plásticos com aditivo degradam-se sem risco para a natureza e transformam-se em H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e biomassa em quantidades reduzidas.

### Áreas de aplicação

Quase todos os filmes flexíveis e semi-rígidos de polietileno – soprado e cast, simples ou multicapa – podem ser fabricados utilizando a tecnologia d2w.

### Composição / Informação sobre os ingredientes

Masterbatch degradável com base em poliolefinas  
Mistura prodegradante: Proprietário  
Estabilização: Proprietário  
Copolímero de Etileno-propileno: 9010-79-1  
Portador de poliolefina: 9003-07-0  
Carbonato cálcico: 471-34-1

### Especificações físicas / químicas

Aparência: pellets sólidas e secas  
Densidade específica: 1,9g/cm<sup>3</sup>  
Cor: Castanho  
Temperatura de fusão: portador de poliolefina: 130-165° C  
Temperatura de decomposição: > 350° C  
Flash point: não determinado  
Temperatura de ignição: > 350° C  
Solubilidade (água): não  
Humidade (ppm): <2000

### Armazenamento

**Aditivo:** Conservar em local fresco, fora de fontes de humidade e calor.

Os plásticos fabricados com a tecnologia d2w mantêm-se estáveis ao longo de um período de tempo determinado.

Recomenda-se que os plásticos com aditivo sejam protegidos em filme espesso branco ou preto ou ainda em caixa de cartão e sejam armazenados num local fresco em que a temperatura não exceda os 30° C.

Nestas condições, o plástico com aditivo terá um prazo de vida útil garantido entre 18 e 24 meses.

### Packaging

Sacos: 25 kg.  
Palete industrial: 1.000 kg.

### Legislação – Contacto com alimentos

**Europa:** Em conformidade com as diretivas 1935/2004 e 10/2011/EC e todas as sus emendas/revisões.

**FDA:** O polímero assim como os aditivos utilizados estão presentes na regulamentação publicada pela FDA. CFR capítulo 21 Secções 177.300.1250, 178.2010 por consequência apto para o contacto alimentar.

**Toxicidade e eco-toxicidade** – Teste de crescimento de agrião: em conformidade com a norma EN 13432 – segundo a qual a taxa de germinação e a biomassa do composto deve ser superior a 90% em relação ao correspondente composto virgem.

### Segurança e manuseamento

O aditivo não é tóxico. Devem ser tomadas as devidas precauções relativas ao manuseamento de produtos químicos. Evitar a ingestão, inalação e contacto com a pele e os olhos. Não comer, beber ou fumar durante o manuseamento do material. Em caso de processamento térmico, prever o equipamento para a adequada extracção de vapores ou ventilação. Evitar a formação de poeira e sua inalação.

### País de origem

Estados Unidos, Europa

Última atualização: 02/12/2016

## Technical data sheet

**Product name:** Bio-Flex® F 5710

**Date of issue:** January 31<sup>st</sup> 2013

**Version:** 1.0

**Page** 1 / 1

### 1. Designation of product, preparation and manufacturer

1.1 Trade name:	Bio-Flex® F 5710
1.2 Use of product:	Biodegradable compound for profile extrusion
1.3 Manufacturer:	FKuR Kunststoff GmbH Siemensring 79 D - 47 877 Willich Phone: + 49 (0) 2154 / 92 51-0 Fax: + 49 (0) 2154 / 92 51-51 Mail: info@fkur.com Web: www.fkur.com

### 2. Mechanical properties

Tensile modulus of elasticity	2,125	[MPa]	ISO 527
Tensile strength	37	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at tensile strength	5	[%]	ISO 527
Tensile stress at break	15	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at break	65	[%]	ISO 527
Flexural modulus	2,300	[MPa]	ISO 178
Flexural strain at break	no break	[%]	ISO 178
Flexural stress at 3.5 % strain	51	[MPa]	ISO 178
Notched impact strength (Charpy), RT	30	[kJ/m <sup>2</sup> ]	ISO 179-1/1 eA
Impact strength (Charpy), RT	no break	[kJ/m <sup>2</sup> ]	ISO 179-1/1 eU
Density	1.29	[g/cm <sup>3</sup> ]	ISO 1183
Bulk density	n/a	[kg/m <sup>3</sup> ]	ISO 60

### 3. Thermal properties

Melt temperature	150 - 170	[°C]	ISO 3146-C
Vicat A softening temperature	n/a	[°C]	ISO 306
Heat distortion temperature HDT B	n/a	[°C]	ISO 75
Melt volume rate (190 °C/2.16 kg)	n/a	[cm <sup>3</sup> /10 min]	ISO 1133
Melt flow rate (190 °C/2.16 kg)	2.5 - 4.5	[g/10 min]	ISO 1133

### 4. Legal notice

The values listed have been established on standardized test specimens at standard temperature and humidity conditions. The figures should be regarded as guide values only. Under certain conditions the properties can be influenced to a significant extent by the processing conditions.

Neither FKuR Kunststoff GmbH nor its marketing affiliates shall be responsible for the use of this information or of any product, method or equipment mentioned. Customers must undertake their own determination of this product's suitability and completeness for their own use, for the protection of the environment, for the health and safety of their employees and purchasers of their products. No warranty is made of the merchantability or fitness of any product, and nothin herein waives any of the seller's conditions of sale.

The current version of General Conditions of Sale of FKuR Kunststoff GmbH is valid.

The brands „FKuR – Plastics made by nature“ and “BIO-FLEX“ are registered trademarks of FKuR Kunststoff GmbH, according to the international 'Nice-Classifications' (NCL9), no. 01, 02 and 17.

## **Anexo B      Relatório da Simulação SolidWorks®**

## Simulation of Pote

Date: 21 de março de 2017

Study name: teste\_PEAD\_REC\_0\_dias  
Analysis type: Static

### Table of Contents

Description .....	1
Assumptions .....	2
Model Information .....	2
Study Properties .....	3
Units .....	4
Material Properties .....	4
Loads and Fixtures.....	5
Connector Definitions.....	5
Contact Information.....	6
Mesh information .....	7
Sensor Details .....	8
Resultant Forces .....	8
Beams.....	9
Study Results .....	10
Conclusion .....	12



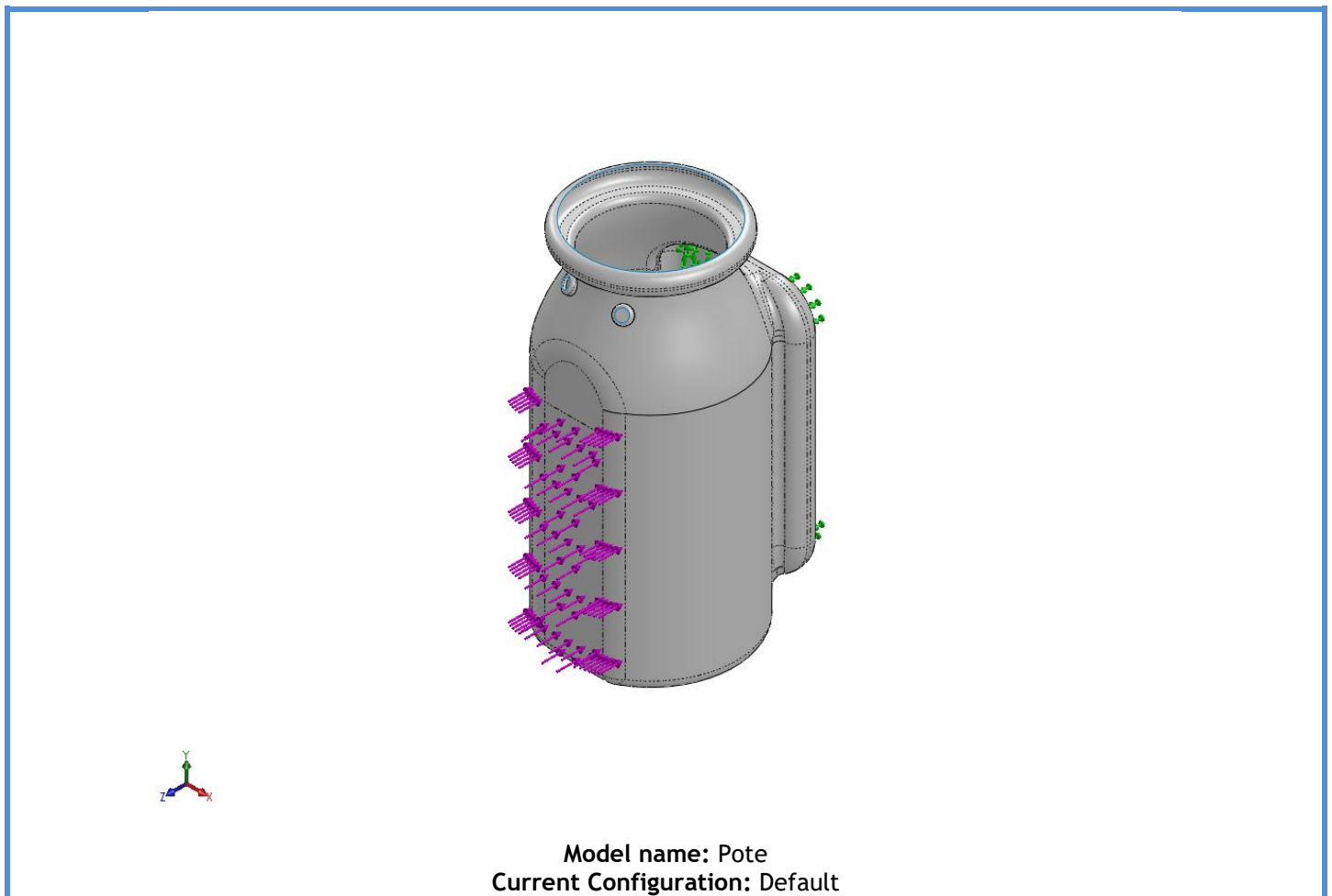
### Description

No Data



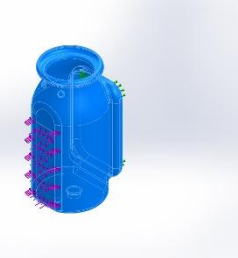
## Assumptions

## Model Information



### Shell Bodies

Document Name and Reference	Formulation	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
-----------------------------	-------------	-----------------------	-----------------------------

<p>DeleteFace3</p> 	Thin	<p>Thickness:1.2 mm  Weight:2.29413 N  Volume:0.000245769 m<sup>3</sup>  Mass:0.234095 kg  Density:952.5kg/m<sup>3</sup></p>	
--	------	--	--

## Study Properties

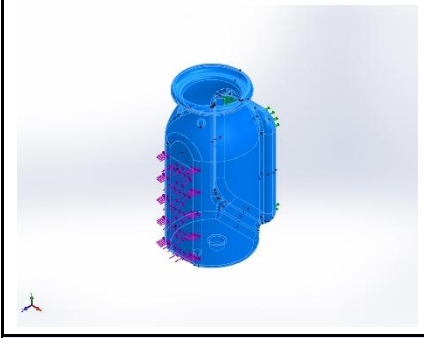
Study name	teste_PEAD_REC_0_dias
Analysis type	Static
Mesh type	Shell Mesh Using Surfaces
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	25 Celsius
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	Off
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off
Result folder	SOLIDWORKS document (C:\Users\lpedrosa\Desktop\Catia)



**Units**

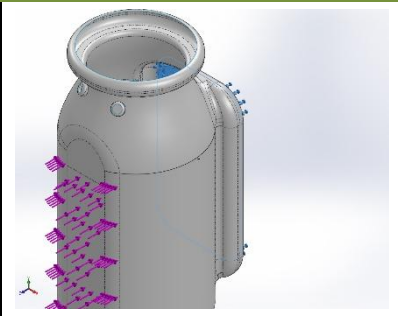
<b>Unit system:</b>	SI (MKS)
<b>Length/Displacement</b>	mm
<b>Temperature</b>	Celsius
<b>Angular velocity</b>	Rad/sec
<b>Pressure/Stress</b>	N/mm <sup>2</sup> (MPa)

**Material Properties**

Model Reference	Properties	Components
	<p><b>Name:</b> PEAD_Reciclado_0dias  <b>Model type:</b> Linear Elastic Isotropic  <b>Default failure criterion:</b> Unknown  <b>Yield strength:</b> 22.46 N/mm<sup>2</sup>  <b>Tensile strength:</b> 30 N/mm<sup>2</sup>  <b>Elastic modulus:</b> 610.67 N/mm<sup>2</sup>  <b>Poisson's ratio:</b> 0.394  <b>Mass density:</b> 0.9525 g/cm<sup>3</sup>  <b>Shear modulus:</b> 318.9 N/mm<sup>2</sup></p>	<p>SurfaceBody                  2(DeleteFace3)(Pote)</p>
Curve Data:N/A		



### Loads and Fixtures

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		<b>Entities:</b> 1 face(s) <b>Type:</b> Fixed Geometry		
<b>Resultant Forces</b>				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-0.000405475	-0.000368349	130.012	130.012
Reaction Moment(N.m)	-0.111057	-0.000750042	0.000684032	0.111062

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		<b>Entities:</b> 3 face(s), 1 plane(s) <b>Reference:</b> Front Plane <b>Type:</b> Apply force <b>Values:</b> ---, ---, -130 N <b>Moments:</b> ---, ---, --- N.m

### Connector Definitions

No Data

## Contact Information

No Data



## Mesh information

Mesh type	Shell Mesh Using Surfaces
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian check for shell	On
Element Size	2 mm
Tolerance	0.1 mm
Mesh Quality Plot	High

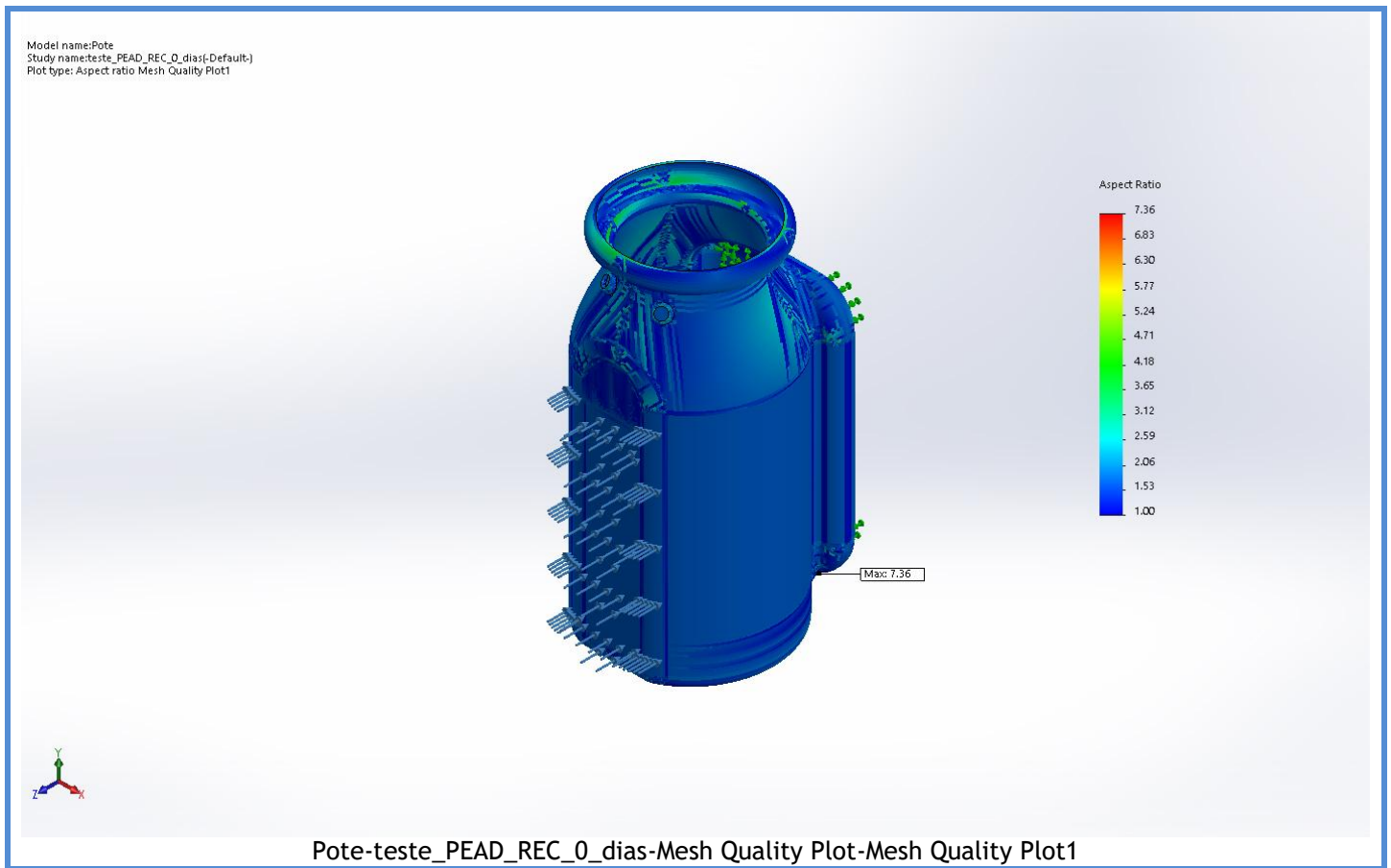
## Mesh information - Details

Total Nodes	207048
Total Elements	103387
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:01:38
Computer name:	

## Mesh Quality Plots

Name	Type	Min	Max
Mesh Quality Plot1	Aspect Ratio	1.00 Element: 7492	7.36 Element: 28186





### Sensor Details

No Data

### Resultant Forces

#### Reaction forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N	-0.000405475	-0.000368349	130.012	130.012

#### Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Model	N.m	-0.111057	-0.000750042	0.000684032	0.111062



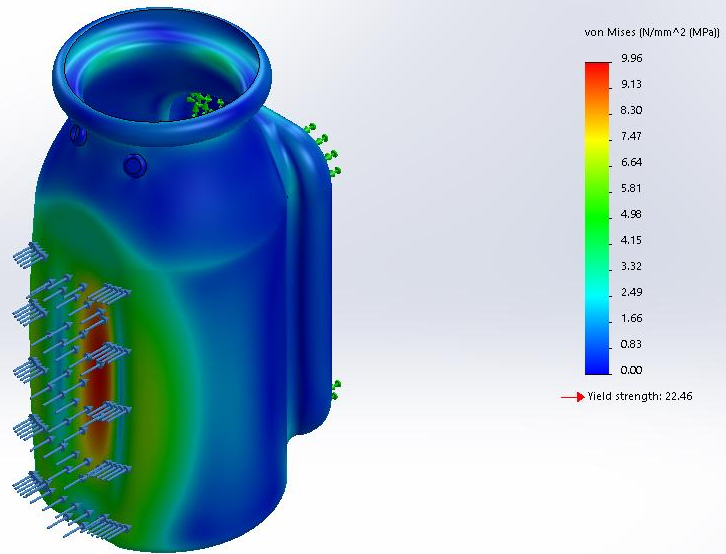
**Beams**  
No Data



## Study Results

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	0.00 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 30704	9.96 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 38242

Model name: Pote  
 Study name: teste\_PEAD\_REC\_0\_dias(-Default-)  
 Plot type: Static nodal stress (Bottom) Stress1  
 Deformation scale: 1

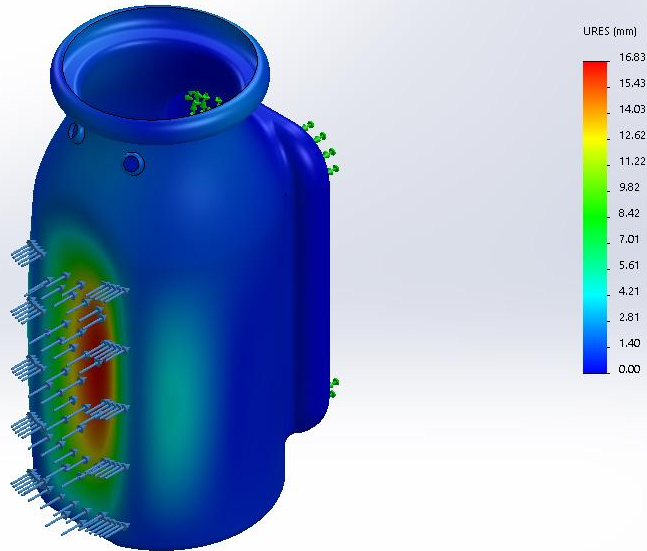


Pote-teste\_PEAD\_REC\_0\_dias-Stress-Stress1

Name	Type	Min	Max
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0.00 mm Node: 30392	16.83 mm Node: 89617



Model name: Pote  
 Study name: teste\_PEAD\_REC\_0\_dias(-Default-)  
 Plot type: Static displacement Displacement1  
 Deformation scale: 1

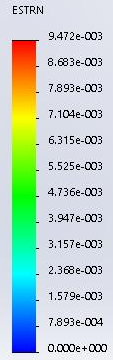
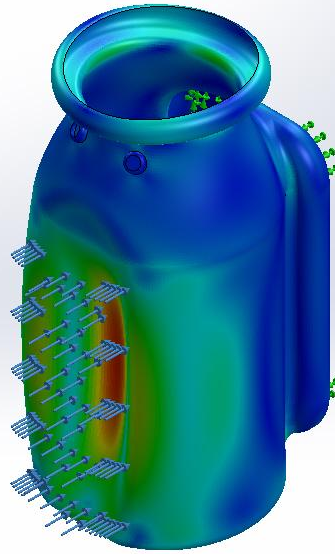


Pote-teste\_PEAD\_REC\_0\_dias-Displacement-Displacement1

Name	Type	Min	Max
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	0.000e+000 Element: 58717	9.472e-003 Element: 86385



Model name: Pote  
Study name: teste\_PEAD\_REC\_0\_dias(-Default-)  
Plot type: Static strain (Top) Strain1  
Deformation scale: 2.02305



Pote-teste\_PEAD\_REC\_0\_dias-Strain-Strain1

## Conclusion



*Esta página foi intencionalmente deixada em branco.*

# **Produção de alcatruzes em material polimérico biodegradável**

**Cátia Sofia Pereira Gomes**