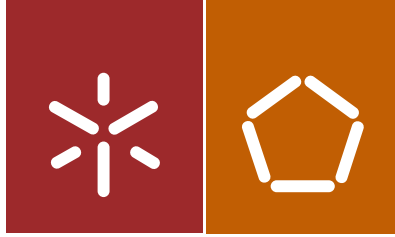




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marco João Pinto da Silva Paiva Machado

Desenvolvimento de uma
cápsula de café biodegradável



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Marco João Pinto da Silva Paiva Machado

Desenvolvimento de uma
cápsula de café biodegradável

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor António Brito
Engenheiro Filipe Machado Cardoso

novembro de 2014

Declaração

Nome: Marco João Pinto da Silva Paiva Machado

Endereço eletrónico: a55678@mail.alunos.uminho.pt

Título da tese de mestrado: Desenvolvimento de uma cápsula biodegradável

Orientador: Professor António Brito e Engenheiro Filipe Machado Cardoso

Ano de conclusão: 2014

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, __/__/____

Assinatura, _____

Agradecimentos

Durante o último ano em que estagiei na empresa CS Plastic, tive o prazer e o privilégio de trabalhar com várias pessoas que me ajudaram a crescer, enquanto indivíduo, cidadão e profissional, e fortaleceram os meus conhecimentos académicos e técnicos, que serão fomentadores e decisivos para os vindouros desafios profissionais.

Manifestamente grato, queria endereçar, em primeiro lugar, um especial agradecimento ao senhor professor António Brito, estimável coordenador da Universidade do Minho, pelos seus doutos conselhos e total disponibilidade, patentes ao longo de todo este trajeto.

Ao Engenheiro Filipe Machado, por ter acolhido o meu repto, revelando-se um exímio coordenador de estágio e de tese de mestrado, sempre prestável nos conselhos, diligente na orientação e próximo em todo o percurso, desde o primeiro ao último dia, o meu muito obrigado!

Estendo abundantes agradecimentos, aos Engenheiros Cristina Félix, Pelin Goren e Bruno Silva, por toda a dedicação, aconselhamento e disponibilidade demonstrados!

Ao Departamento de Polímeros, pelo apreciável apoio prestado, e à empresa Águas do Noroeste pela cedência generosa de material de apoio, enfatizo os meus agradecimentos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente participaram na realização deste trabalho, conferindo sustentabilidade ao projeto, e que se revelaram pedra angular do mesmo, o meu muito obrigado!

Por fim, mas não menos importante, à minha família: um cumprimento e agradecimento cúmplices, por todo apoio e incentivo demonstrados ao longo deste ano.

Mais uma vez, o meu obrigado a todos!

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular *Dissertação em Engenharia de Polímeros* do plano de estudos do Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros.

O projeto foi realizado na empresa CS Plastic, localizada em Santo Tirso, e que labora na área da injeção de plásticos.

O impacto ambiental, causado pelos produtos no final do seu ciclo de vida, é cada vez mais ponderado pelo tecido empresarial. As cápsulas de café, após a sua utilização, são depositadas em lixeiras ou aterros, uma vez que o método de incineração deixou de ser utilizado, devido a todas consequências ambientais nefastas que daí advinham.

Este projeto tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma nova cápsula de café biodegradável, com base na norma EN 13432, respeitante à biodegradabilidade e compostabilidade.

Em primeiro lugar, procedeu-se a um estudo de mercado das matérias-primas biodegradáveis existentes, tendo-se verificado a existência de 3 *grades*: Apinat DP2267/1, Apinat 2267/2 e Apinat 2289/2. Seguidamente estes materiais foram sujeitos a ensaios de biodegradação, flexão e tração para serem analisados e comparados. Foi também calculada a temperatura de amolecimento (*WCAT*) de cada um.

Testadas as cápsulas, existentes no mercado, e analisadas as falhas das mesmas nas máquinas de café, foram desenhados, em SolidWorks, novos projetos com novas medidas.

Posteriormente, produziram-se três novos protótipos, através das técnicas CNC (Comando numérico computadorizado) e FDM (*Fused Deposition Modeling*), com o objetivo de verificar se as alterações produzidas se adequavam ao suporte mecânico da máquina de café.

Verificou-se que os protótipos funcionavam para as máquinas de modelo mais avançado, não obstante deixarem de funcionar em modelos anteriores. Constatou-se, de seguida, que isto se devia a questões que se prendiam com o embalamento do café e não por questões imputáveis às cápsulas.

Palavras-chave: Cápsula biodegradável; final de ciclo de vida; Protótipo.

Abstract

This work was developed as part of the Dissertation in Polymer Engineering which integrates the curriculum of the Polymer Engineering Master.

The project was conducted in the CS Plastic Company, located in Santo Tirso, which works in the field of plastic injection.

The environmental impact caused by the products at the end of its life cycle, is increasingly weighted by the business community. After being used, the coffee capsules, are deposited in dumps or landfills, since the method of incineration is no longer used due to all adverse environmental consequences that were resulting from this process.

This project aims to develop a new biodegradable coffee capsule, based on EN 13432 norm, concerning the biodegradability and compostability.

Firstly, a market research was conducted to determine which biodegradable materials were available, and was establish the existence of three grades: Apinat DP2267/1, Apinat 2267/2 and Apinat 2289/2. These materials were then subjected to biodegradation tests, flexion and traction to be analysed and compared with each other. The individual softening temperature (VICAT) was also calculated.

After testing the capsules available in the market, and having analysed their failures in the coffee machines, we proceed to design, in SolidWorks, new projects with new dimensions. Subsequently, three new prototypes were produced, resorting to CNC (computer numerical command) and FDM (Fused Deposition Modeling) techniques, in order to verify if the changes produced were suitable for mechanical support of the coffee machines.

It was verified that the prototype worked with the more advanced machines models but, nevertheless, didn't work with the older models. Then, it has been found, that it was a problem of packing the coffee rather than structural reasons.

Keywords: Biodegradable coffee capsule; end of life cycle; Prototype.

Índice

Declaração	III
Agradecimentos.....	V
Resumo	VI
Abstract.....	VII
Lista de abreviaturas.....	11
Índice de figuras	12
Lista de tabelas	14
1 Introdução	15
2 Objetivo	16
3 A empresa	19
3.1 Missão da Empresa.....	20
4 Indústria dos biodegradáveis	23
5 Biodegradabilidade e compostagem	26
5.1 Processo de biodegradação.....	29
5.2 Processo de compostagem.....	30
6 Matéria-prima	31
6.1 Copoliésteres	31
6.2 PP – Polipropileno.....	32
7 Materiais biodegradáveis na indústria do café	34
7.1 História da cápsula de café	35
7.2 Máquina de café e mecanismo de funcionamento.....	37
8 Porquê biodegradável?	39
8.1 Reciclagem vs Compostagem	43

8.2	Impacte ambiental e destino dos plásticos	44
8.3	Legislação	45
9	Estudo da matéria-prima	48
9.1	Comparação das características mecânicas	49
10	Constituição da cápsula	51
10.1	Funções de cada componente	52
11	Cápsula em PP copolímero - Constituição	52
11.1	Funções de cada componente	53
12	Cápsulas - Medidas	54
12.1	Teste tentativa erro nas duas máquinas	56
12.2	Teste na máquina X	57
12.3	Teste na máquina Y.....	58
12.4	Principal problema do uso da cápsula a desenvolver na máquina X.....	59
12.5	Comparação da parte inferior das duas cápsulas	61
13	Teste de biodegradabilidade.....	62
14	Ensaio de tração.....	63
14.1	Injeção de provetes de tração	63
14.2	Preparação provetes.....	63
14.3	Cálculos a efetuar	Erro! Marcador não definido.
15	Ensaio de flexão	64
16	Ensaio VICAT	66
17	FDM – Fused Deposition Mold.....	67
18	Alterações efetuadas na cápsula.....	70
19	Protótipos	72
19.1	Protótipo em CNC	73

20	Teste de funcionamento na máquina de café.....	74
21	Teste nas máquinas de versões anteriores.....	75
22	Ensaio de matéria-prima.....	78
22.1	Ensaio de tração.....	80
22.2	Ensaio de flexão.....	85
22.3	VICAT.....	86
22.4	Resultados - Ensaio de biodegradação.....	87
23	Comparação dos materiais em termos de preço.....	91
24	Conclusões.....	95
25	Conclusão Geral.....	96
26	Propostas de trabalhos futuros.....	97
	Referências bibliográficas.....	98

Lista de abreviaturas

CO_2 - Dióxido de carbono

Ton – Toneladas

PLA - Poli Ácido Láctico

PET - Polietileno tereftalato

ABS – Acrilonitrilno Butadieno Estireno

PP – Polipropileno

HDPE – Polietileno de alta densidade

LDPE – Polietileno de baixa densidade

ACV – Avaliação de ciclo de vida

DECO – Defesa do consumidor

SW – *Solid Works*

CNC – Controlo numérico computarizado

ISO – Organização Internacional de Normalização

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

Índice de figuras

Figura 1 - A empresa	19
Figura 2 - Certificados.....	20
Figura 3 - Produção bioplásticos [1]	24
Figura 4 - Capacidade de produção bioplásticos [1].....	24
Figura 5 - Diferentes tipos de materiais biodegradáveis.....	27
Figura 6 - Processo de biodegradação [2].....	29
Figura 7 - Processo de compostagem (4)	30
Figura 8 - Saco compostável feito a partir de EastarBioTM copoliéster. Cortesia da Eastman....	31
Figura 9 - Fórmula química do PP	32
Figura 10 - Cápsulas de café.....	35
Figura 11 - Patente de funcionamento de máquina de café.....	37
Figura 12 - Etapas da cápsula.....	38
Figura 13 - Biodegradabilidade dos polímeros	39
Figura 14 – Percentagem de utilização do sistema de cápsulas vs café moído [10]	40
Figura 15 - Sistema Nespresso (em Kg) [11]	41
Figura 16 - Impacto ambiental dos polímeros [2].....	44
Figura 17 - Emissão de gases com efeito de estufa [2]	44
Figura 18 - Constituição da cápsula	52
Figura 19 - Constituição da cápsula 2	53
Figura 20 - Medidas da cápsula	54
Figura 21 - Teste na máquina X	57
Figura 22 - Teste na máquina Y	58
Figura 23 - Vista superior	59
Figura 24 - Vista inferior.....	59
Figura 25 - Comparação das medidas.....	61
Figura 26 - Teste de biodegradabilidade.....	62
Figura 27 - Provete de tracção	64
Figura 28 - Máquina de ensaios VICAT	66

Figura 29 - Funcionamento da 3D Printer.....	67
Figura 30 - Alterações na cápsula	71
Figura 31 - Protótipo antes maquinação	72
Figura 32 - Protótipo depois da maquinação.....	72
Figura 33 - Varão em POM.....	73
Figura 34 - Topo e fundo do protótipo	74
Figura 35 - Alteração na cápsula	74
Figura 36 – Demonstração do abaixamento da rede.....	75
Figura 37 - Cápsula A, sem café	76
Figura 38 - Esforços tração e flexão.....	78
Figura 39 - Força vs Enlongamento PP.....	80
Figura 40 - Força vs Enlongamento Api DP 2267/2	81
Figura 41 - Força vs Enlongamento Api DP 2267/1	81
Figura 42 - Força vs Enlongamento Api DP 2289/2	82
Figura 43 - Deformação na rotura	83
Figura 44 - Módulo de elasticidade.....	83
Figura 45 - Módulo de elasticidade à flexão	85
Figura 46 - Temperatura de amolecimento.....	86
Figura 47 - Biodegradação semana 2.....	87
Figura 48 - Biodegradação semana 1	87
Figura 49 - Biodegradação semana 3.....	87
Figura 50 - Biodegradação semana 4.....	87
Figura 51 - Biodegradação semana 2.....	89
Figura 52 - Biodegradação semana 1	89
Figura 53 - Biodegradação semana 4.....	89
Figura 54 - Biodegradação semana 1	89
Figura 55 - Biodegradação semana 2.....	89
Figura 56 - Biodegradação semana 4.....	90

Lista de tabelas

Tabela 1 - Exemplos de cápsulas biodegradáveis.....	34
Tabela 2 - Apinat DP 2267/1.....	49
Tabela 3 - Apinat DP2267/2.....	50
Tabela 4 - Apinat DP 2289/2.....	50
Tabela 5 - PP copolímero.....	50
Tabela 6 - Medidas da cápsula.....	54
Tabela 7 - Ensaio de tração.....	63
Tabela 8 - Condições de processamento.....	80
Tabela 9 - Preços das matérias-primas.....	91

1 Introdução

Desde o início do século passado, o uso dos plásticos tem-se tornado cada vez mais frequente na sociedade. Basta olhar ao redor, para se perceber a abundante quantidade de produtos produzidos pelo homem que utiliza polímeros como matéria-prima. Isso deve-se às suas características: durabilidade, atoxicidade, baixo custo, facilidade para serem moldados, capacidade de serem reciclados e versatilidade de aplicação. Os produtos que empregam polímeros sintéticos convencionais como matéria prima são considerados inertes ao ataque imediato de microrganismos. O que faz com que esses produtos apresentem um maior ciclo de vida útil e, conseqüentemente, acarretem sérios problemas ambientais, visto que, após o seu descarte, contribuem para o aumento da quantidade de resíduos plásticos no meio ambiente.

A defesa do meio ambiente é uma questão relevante no mundo contemporâneo. Por isso, a substituição dos polímeros sintéticos por polímeros biodegradáveis constitui uma alternativa viável, uma vez que existe a possibilidade de misturar polímeros de naturezas diferentes, garantindo as suas propriedades e conseqüente biodegradação.

O projeto desenvolvido tem como objetivos rever todas as matérias-primas, aplicadas nas cápsulas de café, e tendo como meta o desenvolvimento de uma nova cápsula de café biodegradável.

Relativamente à organização da Dissertação, o **Capítulo I** é dedicado à descrição da empresa onde foi realizado este projeto, a CS Plastic.

O Capítulo II incide sobre a componente teórica do trabalho. São abrangidos vários temas: desde a definição de uma material biodegradável, até ao estudo do mercado das cápsulas biodegradáveis. São também descritos todos os processos experimentais, realizados ao longo deste projeto.

No **Capítulo III**, descreve-se o procedimento experimental: começando pela pesquisa das matérias-primas existentes, até aos métodos de falha da cápsula durante a sua utilização. Aqui, são também apresentados dados relativos a testes efetuados.

No **Capítulo IV** são apresentados os resultados obtidos, bem com a sua discussão.

Por fim, o **Capítulo V** é exclusivamente dedicado às partes mais técnicas: *Conclusão*, *Referências Bibliográficas* e *Anexos*.

2 *Objetivo*

Este projeto tinha como objetivo central a estruturação e desenvolvimento de uma cápsula de café biodegradável.

Numa primeira fase, pretendia-se realizar uma pesquisa dos polímeros biodegradáveis já existentes no mercado, tendo sempre em vista as condições de funcionamento da cápsula de café, ou seja, uma pressão de 19 bar e uma temperatura de aproximadamente 90°C.

Após a seleção da matéria prima, realizaram-se vários testes de *modo falha*, com o intuito da verificação de eventuais correções até se chegar ao modelo pretendido.

Feito o esboço em 3D, foi monitorizado um protótipo, seguidamente posto à prova, em condições reais.

Capítulo I

A empresa

3 A empresa

Fundada em 2010, a CS Plastic apresenta-se como uma empresa jovem, com formação académica obtida, na generalidade, no Departamento de Polímeros da Universidade do Minho.

Já com uma sólida experiência no setor de injeção de componentes plásticos, a CS - *Cost Saving* - afirma-se no mercado como uma empresa *Low Cost*.

”Tratando-se de uma empresa portuguesa, tem como principal objetivo a exportação de componentes plásticos para o estrangeiro, encontrando-se em expansão e crescimento.”



Figura 1 - A empresa

Os principais mercados são a construção civil, a indústria alimentar, elétrica e industrial (empresas de equipamentos).

O edificado da empresa complementa-se em duas estruturas principais: uma dedicada ao fabrico; outra à montagem das peças.

3.1 Missão da Empresa

“A principal missão é desenvolver e produzir componentes plásticos para o setor industrial, prestando serviços de qualidade a preços muito competitivos. Na CS Plastic dá-se enfoque nas relações com os clientes, oferecendo soluções integradas que vão desde a ajuda na escolha da matéria-prima, passando pelos moldes até à produção em série, aos melhores preços do mercado. Para a CS, hoje em dia não é suficiente ser apenas melhor que a concorrência, mas também estar mais presente no mercado.”

Trata-se de uma empresa certificada de acordo com o ISO 9001:2008 segundo o âmbito design, desenvolvimento e injeção de componentes termoplásticos.



Figura 2 - Certificados

Capítulo II

Introdução teórica

4 Indústria dos biodegradáveis

A utilização de recursos renováveis para a produção de produtos biodegradáveis resulta numa enorme redução na dependência de recursos fósseis. Em alguns casos, traduz-se também numa contribuição para a proteção do meio ambiente, uma vez que a produção deste tipo de materiais reduz a emissão de CO_2 para a atmosfera, o que faz com que haja uma diminuição do buraco do ozono.

A mais valia que este tipo de plásticos apresenta é o facto de eles serem decompostos através de bactérias e/ou de outros seres vivos.

Há dois tipos de plásticos biodegradáveis:

- Bioplásticos, cujos componentes derivam de matéria renovável;
- Plásticos produzidos através de recursos não-renováveis, que têm na sua estrutura aditivos biodegradáveis que induzem a biodegradação dos mesmos.

Como se pode verificar pela figura 3, a utilização de produtos biodegradáveis tem progredido nos últimos anos e estima-se que, em 2017, atinja o pico da capacidade de produção. [1] Constata-se também que, fora da Europa, a produção dos bioplásticos está em franco crescimento, o que não se verifica no seu seio. Por esta razão, e para atrair investimentos, catapultando-a para o patamar dos maiores produtores do mercado, a EU precisa de introduzir medidas favoráveis à produção destes tipos de plásticos.

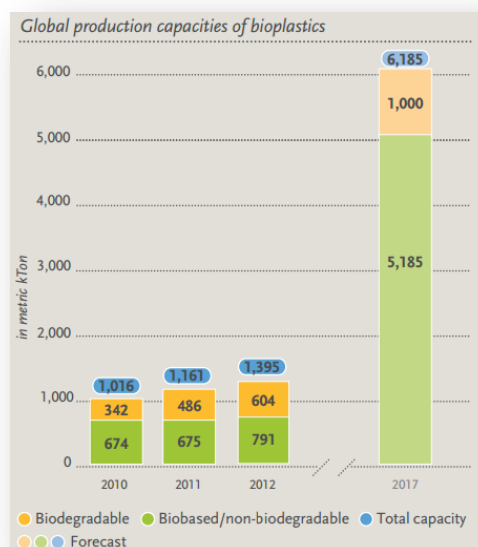


Figura 3 - Produção bioplásticos [1]

Os bioplásticos são uma família de plásticos muito abrangente e que podem aportar à peça plástica inúmeras propriedades, por um lado, conferindo ao meio ambiente, questões mais favoráveis, nomeadamente a biodegradação. Assim, este mercado exibe-se cada vez mais como um nicho em crescendo, que marcará a agenda dos decisores políticos nas próximas décadas.

Desde o ramo da construção até à área alimentar, este tipo de plásticos consegue ser uma boa alternativa aos plásticos convencionais, uma vez que preservam as mesmas características durante o seu tempo de vida.

De acordo com os dados apresentados na figura 4, pode-se constatar que o setor que mais utiliza os polímeros biodegradáveis é o mercado das embalagens.

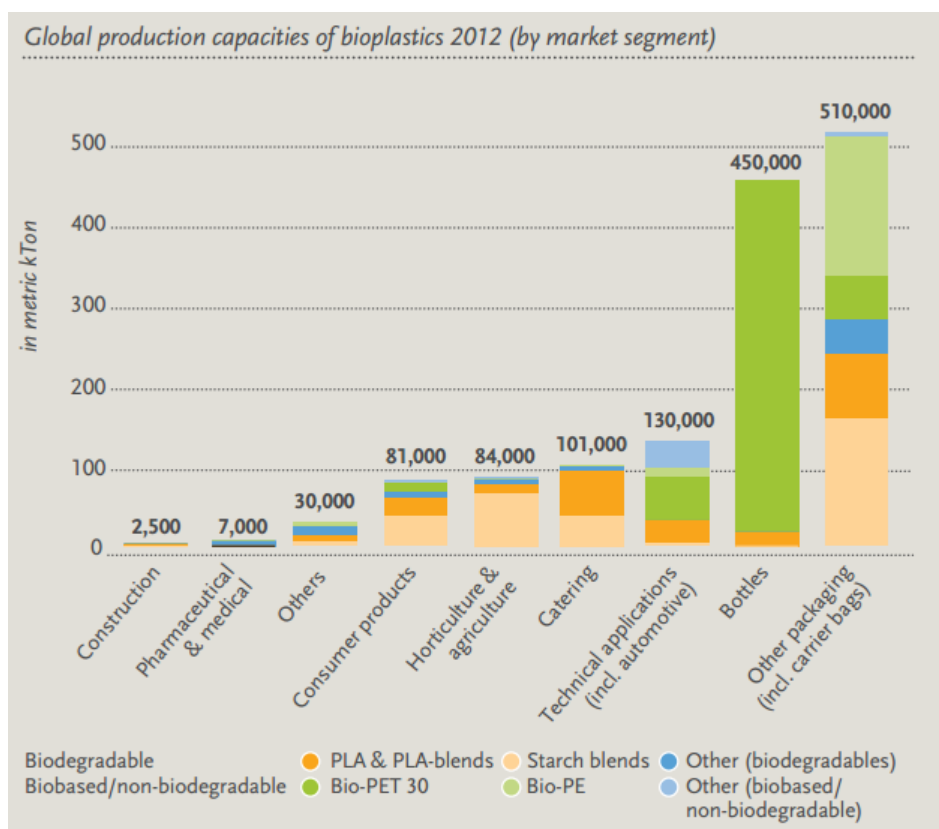


Figura 4 - Capacidade de produção bioplásticos [1]

5 *Biodegradabilidade e compostagem*

Os plásticos biodegradáveis são compostos cujo processo de degradação resulta da ação natural de micro-organismos tais como bactérias, fungos e algas, e que cumprem determinadas especificações.

A biodegradabilidade e compostabilidade são definidas e reguladas pelas normas internacionais: EN 13432, EN 14995, ASTM D6400, GreenPla e ABNT 15.448.

Um plástico pode ser biodegradável mas não ser compostável, i.e. degradar-se paulatinamente ou deixar alguns resíduos tóxicos.

A compostagem é um processo que envolve a decomposição biológica de material biodegradável e a sua transformação em dióxido de carbono, água, minerais e matéria orgânica: o húmus. [2]

Após a sua utilização, os plásticos biodegradáveis devem ser incorporados no solo de forma fragmentada para facilitar a posterior ação dos microrganismos. A ação por parte dos micro-organismos não deve deixar qualquer tipo de resíduo e não pode ter qualquer tipo de impacto ambiental.

Os plásticos biodegradáveis devem cumprir normas rigorosas em relação à sua completa biodegradabilidade, qualidade do composto e segurança do produto, sob determinadas condições específicas, para uma dada aplicação. [3]

A biodegradabilidade dos polímeros depende não só da matéria-prima utilizada, como também da composição química e da estrutura do produto final, tal como das condições nas quais o produto se vai biodegradar. Enquanto alguns plásticos de origem renovável podem ser considerados biodegradáveis outros, devido à sua estrutura polimérica específica, não são. Para além disso, alguns polímeros degradam-se em apenas algumas semanas, enquanto que outros demoram vários meses ou anos, nas mesmas condições. [2]

A biodegradação no solo é mais rápida quando as temperaturas e a humidade relativa são mais elevadas.

Os plásticos biodegradáveis podem ser classificados através dos seguintes pressupostos:

1. Matéria-prima - plásticos produzidos a partir de materiais renováveis ou plásticos produzidos a partir de materiais não renováveis (recursos fósseis);
2. Comportamento após a sua vida útil – materiais biodegradáveis (ou compostáveis) e materiais não biodegradáveis. [2]

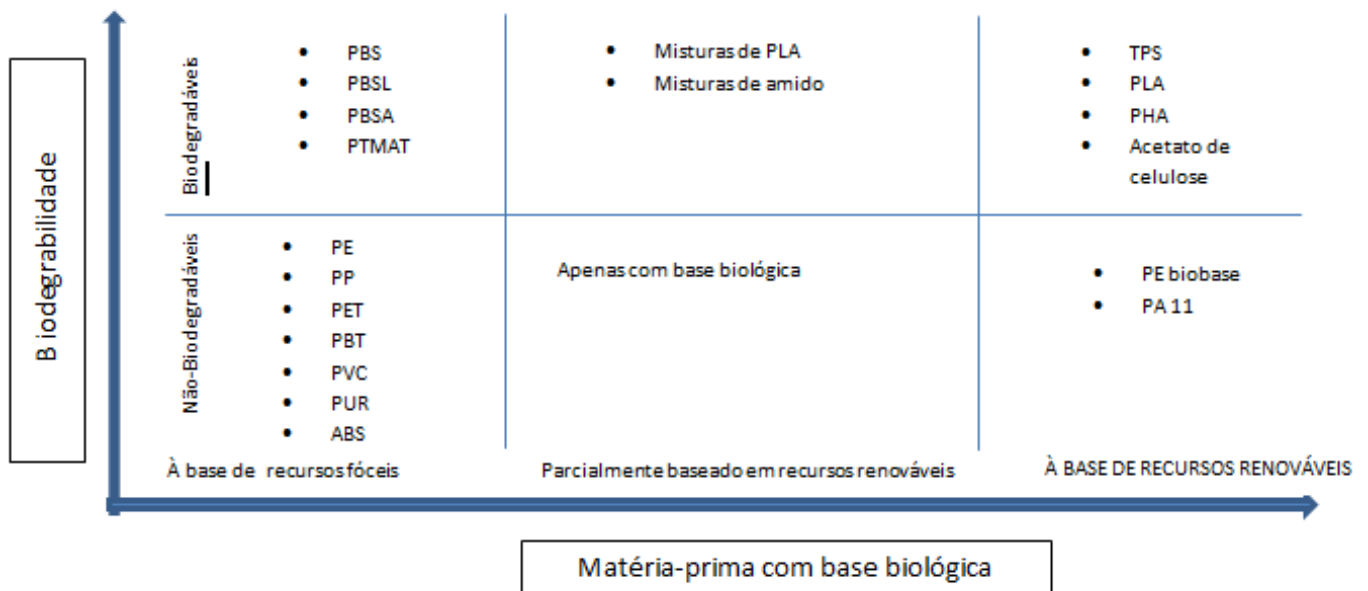


Figura 5 - Diferentes tipos de materiais biodegradáveis

No que diz respeito aos materiais biodegradáveis, podemos classificá-los da seguinte forma:

1. Polímeros naturais à base de recursos renováveis. Estes polímeros são sintetizados por organismos vivos. São exemplos: os polissacarídeos, a celulose, o amido, as proteínas e os polihidroxialcanoatos (PHA) [3];
2. Polímeros sintéticos à base de recursos renováveis. Os seus monómeros derivam de recursos naturais mas requerem uma transformação química. Muitos polímeros convencionais podem, em princípio, ser sintetizados a partir de matérias-primas renováveis, e. g. o amido do milho pode ser hidrolisado e usado como matéria-prima para a obtenção de poli(ácido láctico) (PLA). Apesar de a sua origem ser renovável, o polímero não é considerado natural, uma vez que é quimicamente sintetizado [3];
3. Polímeros sintéticos à base de recursos não renováveis. A maior parte dos convencionais são constituídos à base de recursos não renováveis e não são compostáveis nem biodegradáveis. Na maior parte dos casos, as suas propriedades dos biodegradáveis naturais não correspondem às necessidades dos plásticos biodegradáveis comercializados. Para se obterem as propriedades desejadas, são muitas vezes utilizadas formulações com polímeros sintéticos [3].

5.1 Processo de biodegradação

Existem dois mecanismos de degradação principais que devem ser considerados no processo de biodegradação dos plásticos biodegradáveis:

- 1) a degradação/fragmentação;
- 2) a biodegradação.

A primeira etapa ocorre no momento em que há exposição do plástico à radiação solar, temperatura elevada e humidade. Como consequência, torna-se mais quebradiço e apresenta rasgões, que surgem antes da completa desintegração do plástico, em pedaços pequenos. [3]

Segue-se então a biodegradação. Esta etapa resulta da ação de micro-organismos, tais como bactérias, fungos e algas sobre os fragmentos. Considera-se que este mecanismo só ocorre quando os fragmentos são totalmente consumidos pelos micro-organismos, sob a forma de alimento ou fonte de energia. Para que os plásticos biodegradáveis funcionem, têm que ser desencadeados os mecanismos de degradação adequados, conforme figura 6 [2].

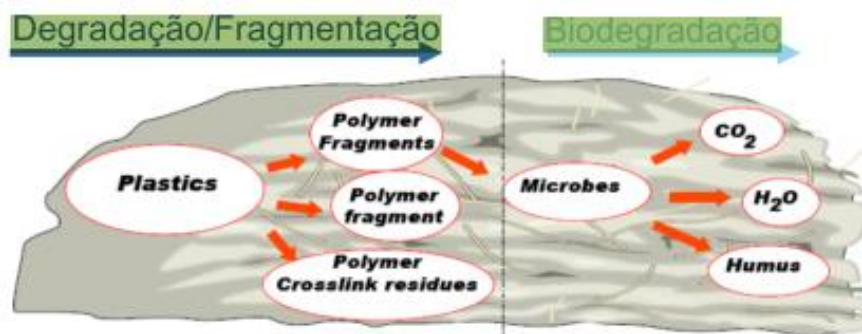


Figura 6 - Processo de biodegradação [2]

A biodegradação ocorre ativamente em presença de diferentes tipos de solo de acordo com as suas propriedades e uma vez que os micro-organismos responsáveis pela degradação diferem uns dos outros, dada à especificidade das condições ótimas de crescimento.

5.2 Processo de compostagem

Trata-se do processo de reciclagem dos resíduos sólidos e semissólidos, que permite tratamento e transformação dos mesmos em adubo. Caracteriza-se pela decomposição aeróbia ou anaeróbia dos resíduos, a temperaturas elevadas e com libertação de energia.

O produto resultante deste processo pode ter aplicação direta no solo como fertilizante. Uma vez que a componente orgânica constitui metade do fluxo de resíduos produzidos, esta técnica parece ser a mais vantajosa, pois permite reduzir significativamente a quantidade de resíduos conduzidos a aterro.



Figura 7 - Processo de compostagem (4)

Os micro-organismos que se desenvolvem no processo de compostagem são diversos e variam conforme as fases do processo, sobretudo da temperatura.

A grande vantagem da compostagem bem como da maioria dos processos de valorização de resíduos, prende-se com o facto de poderem ser depositados, em locais apropriados, evitando, assim, que sejam lançados no meio ambiente [4].

6 *Matéria-prima*

6.1 *Copoliésteres*

Das combinações entre os diácidos e os dióis dos poliésteres, obtêm-se os copoliésteres. A maior deles são biodegradáveis, alifáticos e alifáticos-aromáticos e fabricados a partir do petróleo, ou seja, a partir de fontes não renováveis.

Estes polímeros são biodegradáveis, quando submetidos num substrato composto por bactérias e fungos e sob a ação de enzimas hidrolíticas. A taxa de degradação depende da composição do substrato.

Disponíveis sob a forma de resinas, filmes ou fibras, pode-se destacar algumas das suas características, tais como a elasticidade, a robustez e a impermeabilidade. [5]

Aplicações:

1. Filme para explorações agrícolas;
2. Sacos de compras;
3. Filme transparente;
4. Copos de plástico;
5. Fraldas descartáveis, etc.



Figura 8 - Saco compostável feito a partir de EastarBio™ copoliéster. Cortesia da Eastman

6.2 PP – Polipropileno

Define-se como um termoplástico semi-cristalino, de baixo custo e fácil de processar. De uso comum, este material é utilizado em variadas aplicações de engenharia, dada a sua elevada versatilidade.

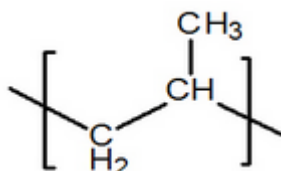


Figura 9 - Fórmula química do PP

O Polopropileno (PP) pode ser processado por extrusão, termoformação, moldação sopro e injeção. É utilizado em diversas aplicações:

1. Mobiliário de jardim;
2. Peças para a indústria automóvel;
3. Filme biorientado com excelente transparência;
4. Cordas e ráfias de elevada resistência;
5. Diversos tipos de tampas e cápsulas.

O polipropileno homopolímero é o material de base de todos os tipos de PP e é um dos tipos de PP mais utilizados. Comparativamente aos plásticos de uso comum, apresenta uma maior rigidez e uma mais elevada resistência à temperatura permitindo-lhe aplicações em contínuo, com temperaturas acima dos 100 °C [6].

Para aplicações em que se exige uma elevada rigidez, mas em que a resistência ao impacto, a baixa temperatura, é um requisito essencial, deve-se utilizar o PP copolímero. Este permite obter um ótimo compromisso entre rigidez, resistência ao impacto e gama de temperaturas de utilização. Ao contrário do que acontece com os materiais amorfos, nos materiais semicristalinos, nomeadamente nos polipropilenos, a temperatura mínima de utilização pode ser um requisito importante, uma vez que estes materiais podem tornar-se frágeis a baixas temperaturas. [6]

7 Materiais biodegradáveis na indústria do café

Após a queda da patente da Nespresso, várias empresas investiram na concepção da cápsula de café ideal. O principal desafio era a concepção de uma cápsula que apenas funcionasse nas suas próprias máquinas, obtendo-se assim a exclusividade de compra.

Como a questão ambiental é uma crescente preocupação das empresas, são cada vez mais os programas de incentivo à reciclagem das cápsulas de café bem como a compostagem das borras de café nos jardins dos consumidores. Delta ReThink Eco Project (Delta cafés) e o programa de reciclagem da Nescafé são dois exemplos já existentes que comprovam esta visão ecológica.

Porém, nem tudo é positivo: o caso do Delta ReThink Eco Project em que foram colocados “capsulões” (pontos de recolha de cápsulas já utilizadas) em vários pontos de Portugal, não capitalizou grande parte dos objetivos para que fora concebido. Parece que, neste como noutros exemplos de insucesso, faltaram alguns mecanismos, nomeadamente de suporte informativo e de *marketing*.

A indústria do café aposta cada vez mais em “soluções verdes”. A concepção de uma cápsula biodegradável é a prova disso mesmo. Já existem cápsulas que são 100% biodegradáveis e outras há que, como são constituídas por outros tipos de materiais sem ser plásticos, não são totalmente degradáveis.

O desenvolvimento desta solução é um verdadeiro desafio, uma vez que, como é sabido, as propriedades mecânicas de um plástico biodegradável são inferiores às de um plástico proveniente de recursos fósseis.

Em baixo, alguns exemplos de cápsulas biodegradáveis, já existentes:

Tabela 1 - Exemplos de cápsulas biodegradáveis



7.1 *História da cápsula de café*

Desde o tradicional café moído (que é o mais utilizado), ao sistema das cápsulas, até aos sistemas de pastilhas, são várias as opções que o consumidor tem à sua disposição.

Nos anos 70, Eric Favre, engenheiro da Nestlé, inventou a primeira cápsula de café. Durante uma visita a um dos mais conceituados cafés de Roma, descobriu qual era o segredo para se obter o melhor do café: a adição de oxigénio ao processo. Como o próprio admitiu então, não tinha encontrado a solução para o problema, apenas descobrira uma fórmula, ou seja, Favre disse que, segundo o próprio “É a mistura entre água, oxigénio e café que torna o paladar do café melhor”. O ar é essencial no processo, uma vez que é constituído por 20 % de oxigénio e a sua presença faz com que se crie uma oxidação dos aromas e dos óleos essenciais para a extração do melhor do café. [7]



Figura 10 - Cápsulas de café

Rapidamente Eric Favre se apercebeu de que estava perante uma invenção que mudaria para sempre a história do café. Assim sendo, em 1976, criou a sua primeira cápsula (sistema Nespresso) e desde então tem vindo a aperfeiçoá-la.

A primeira cápsula original, comercializada em 1994, de alumínio, pesava 3 gramas, todavia, o filtro pesava (2 g) quase tanto como o resto da cápsula. Este foi um dos principais desafios: diminuir os recursos utilizados e os custos de energia. [7]

A cápsula, tal como a conhecemos hoje, já pouco ou nada se assemelha à de Eric Favre. Daí até aos nossos dias, deu-se uma grande (r)evolução: desde o material utilizado, ao *design* da própria cápsula, até ao seu conteúdo, tudo se alterou.

Para além do café, podemos encontrar nestas modernas cápsulas, cafés, chás, infusões, leite, sopas, comida para bebés, etc.

Esta versatilidade fez emergir uma indústria multimilionária em expansão, nos últimos anos e que, segundo as previsões, continuará a consolidar a sua sustentabilidade atingindo um crescimento de 20%, nos próximos 10 anos.

7.2 Máquina de café e mecanismo de funcionamento

A máquina de café que funciona com cápsulas é diferente das tradicionais (funcionam com café moído). Para além de serem mais práticas, rápidas e cómodas, conquistam, pelos seus diversificados aromas (*Espresso, Americano, etc.*), putativos clientes.

É de extrema importância conhecer todo o seu processo mecânico, cada vez que se pretende tirar um café. Assim, e como se pode constatar através da figura 11, o seu funcionamento é bem mais complexo do que aquilo que aparenta ser. Apenas se irá focar a máquina Delta, uma vez que é esse modelo que irá ser estudado ao longo deste trabalho.

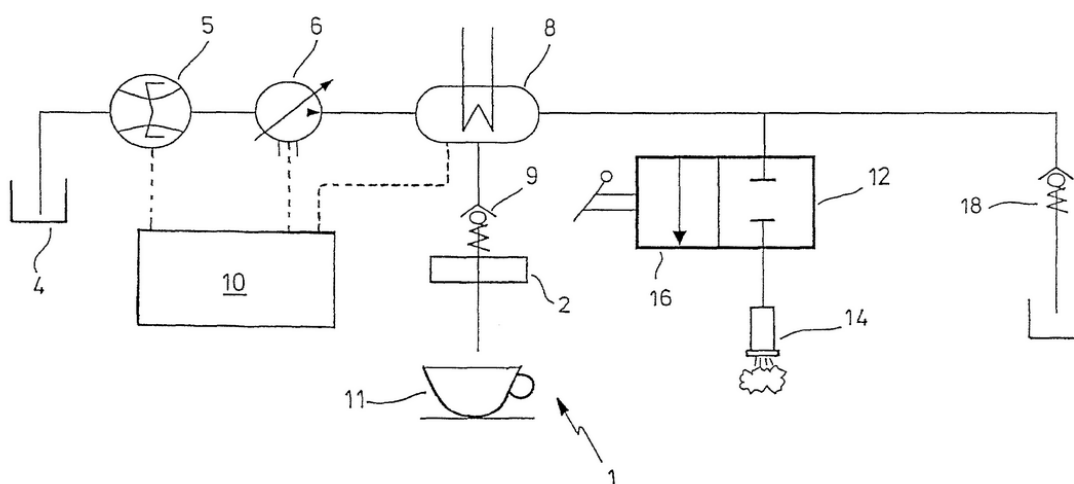


Figura 11 - Patente de funcionamento de máquina de café

Durante a tiragem do café **(1)**, a água é retirada de um reservatório **(4)** e puxada por um canal **(5)**, através de uma bomba **(6)**, para um aquecedor elétrico **(8)**. A bomba é um pistão que pode criar pressões relativamente altas (entre 15 a 19 bar).

O reservatório, com resistência **(8)**, poder conter até cerca de 100 ml de água para evitar perdas de calor. Localizado abaixo do reservatório, onde a água é aquecida, e acima do local onde é colocada a cápsula **(2)**, encontra-se uma válvula **(9)**, que abre e fecha a relativamente pouca pressão (2 bar), para prevenir qualquer tipo de gotejamento enquanto a bomba **(6)** não está a funcionar [8].

O sistema de controlo de toda a máquina de café **(10)** está diretamente ligado ao canal de passagem de água, à bomba e ao reservatório de aquecimento.

O utilizador seleciona o tipo de café que quer beber, conforme a capacidade da bomba: com pressões entre os 14 e os 16 bar, obtém-se o chamado *café espresso*, entre 10 e 12 bar, obtém-se um *café crema* (café mais cremoso); para os apreciadores de um café mais fraco regula-se as pressões entre 5 e 7 bar [8].

O sinal que foi colocado em **(5)** é o que regula o volume de água pressurizada que vai atravessar a cápsula. Quanto menor o seu fluxo a atravessar a cápsula, mais espuma será criada. Assim se consegue um *café crema*! A obtenção de um *café espresso* exige um volume alto [8].

Como se pode ver na sequência de imagens, a cápsula é furada por um espigão **(A)**, que atravessa o alumínio e injeta água quente e pressurizada. Esta atravessa a cápsula **(B)**, criando pressão dentro da mesma, provocando o aumento dos grãos de café, até 5 vezes o seu tamanho. Ao criar pressão dentro da cápsula, os grãos de café são “empurrados” até ao fundo, conduzindo o líquido até à chávena de café **(C)**, após passagem pelo filtro.



Figura 12 - Etapas da cápsula

8 Porquê biodegradável?

A indústria do plástico tem desenvolvido, nos últimos anos, diversos produtos a partir de materiais orgânicos, tais como milho, batata, soja, etc., visando, assim, problemas causados pela não degradação de plástico, obtido a partir de recursos fósseis. O facto de muito produtos não serem renováveis, aumenta o impacte ambiental.

Quase toda a gama de plásticos, diariamente utilizados no nosso quotidiano (PET, HDEP, LDPE, PE, etc), não sofre qualquer tipo de alteração, quando expostos a microrganismos [9].

Para que um polímero seja considerável degradável terá que sofrer uma modificação significativa na sua estrutura química sob determinadas condições, resultando na perda de propriedades que podem variar no tempo e que determinam a sua classificação. Isto não acontece na maior parte dos polímeros sintéticos.

Entre os que são considerados polímeros sintéticos, apenas a policaprolactona (PCL) é biodegradável e os outros levam centenas ou até milhões de anos a degradarem-se, como demonstra a seguinte tabela.

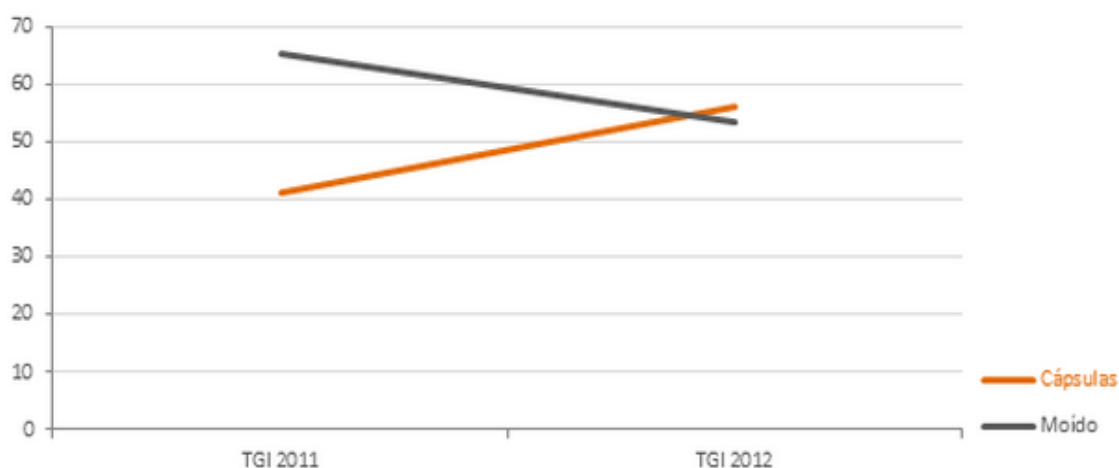
Polímero	Tempo de Degradação
PET	400 a milhares de anos
PE	100 a 400 anos
PP	> 1000 anos
PLA	1 semana a 24 meses
PCL	> 24 meses
PVOH	Solúvel em água
PS	> 400 anos
PHB	1 a 10 anos

Figura 13 - Biodegradabilidade dos polímeros

Os polímeros que não se conseguem biodegradar num tempo útil devem ser reciclados ou reutilizados. Uma vez que diferentes materiais são reciclados por diferentes processos, é necessário proceder à sua separação prévia. No entanto, nem sempre esta separação é

conseguida, pelo que, normalmente, as empresas optam por depositar todo o desperdício em aterros sanitários.

Há cada vez mais uma maior preocupação em relação ao fim de ciclo de vida (ACV) dos produtos, por parte das empresas. Atualmente as companhias oferecem já um sistema de recolha de cápsulas pós-uso. Estes programas de recolha não abrangem grande parte de todo o desperdício gerado, o que permite que algumas empresas optem simplesmente por depositar os seus desperdícios em lixeiras ou aterros. É preocupante que assim seja, uma vez que, como é referido pela Marketest, é cada vez maior a aposta nas máquinas de cápsulas descartáveis por parte dos portugueses. [10]



Fonte: Marketest TGI 2012 e TGI 2011

Figura 14 – Percentagem de utilização do sistema de cápsulas vs café moído [10]

Este tipo de sistema, em comparação com as máquinas tradicionais, apesar de ser mais “limpo” e cómodo (funcionam com café moído), produz mais desperdício.

Segundo um estudo efetuado pela DECO, sobre os elementos que constituem uma cápsula existente no mercado concluiu-se que, na generalidade, o alumínio, o papel e o plástico são os seus principais componentes.

Sistema Nespresso

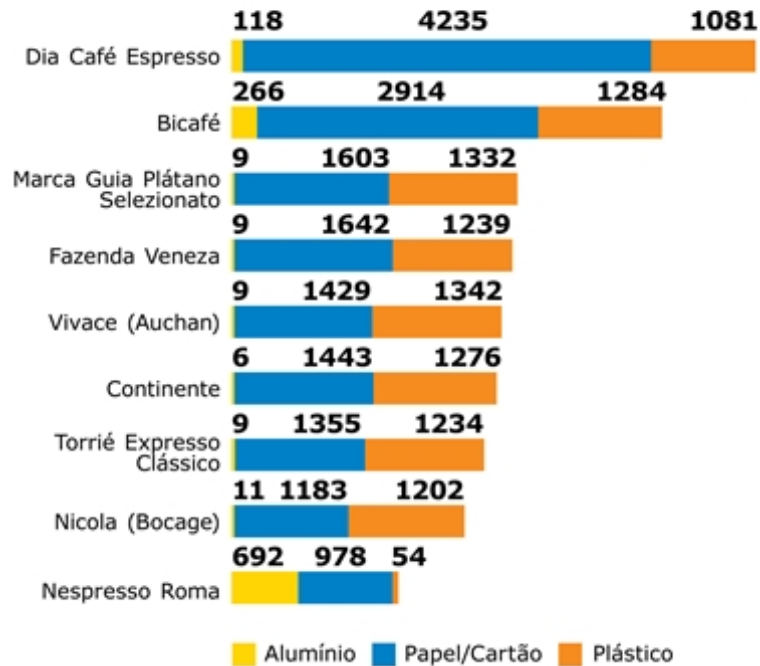


Figura 15 - Sistema Nespresso (em Kg) [11]

Para melhor se compreender a complexidade e a gravidade ecológica, decorrentes do desperdício e da utilização cada vez mais substancial do uso das cápsulas, apresenta-se um exemplo concreto, que pode ser colhido no nosso quotidiano, e que realça esta monstruosidade.

Faça-se, então, o seguinte exercício: um indivíduo que tome 2 cafés por dia, utiliza, durante um ano, mais de 700 cápsulas. Em termos de substâncias, consome 700 g de alumínio, 5,7 kg de plástico ou 4,2 kg de papel!

Porque não emagrecer este monstro, criando alternativas “verdes”, amigas do ambiente, economicamente e financeiramente favoráveis?

Os resíduos gerados podem e devem ser transformados em novos produtos! As borras de café também têm solução: a extração e re-encaminhamento para valorização orgânica permitem obter um composto que pode ser usado como fertilizante agrícola.

Há também, soluções para as cápsulas: torná-las biodegradáveis!

Como se sabe, os materiais biodegradáveis têm um curto ciclo de vida ao contrário dos plásticos provenientes de recursos fósseis.

Há, no entanto, muito caminho a percorrer, no setor empresarial, nomeadamente no que à investigação, ao investimento e à inovação diz respeito.

Para além disso, os materiais biodegradáveis, como se sabe, têm um curto ciclo de vida, ao contrário dos plásticos provenientes dos recursos fósseis. Também não é muito fácil encontrar material plástico biodegradável que suporte as condições que uma cápsula aguenta, durante o tempo de tiragem de um café: pressão de 19 bar e temperatura de 90°C.

Acresce a todos aqueles argumentos aquele que tem sido o mais recorrente e que tem norteado as opções da maior parte dos empresários: o preço dos polímeros biodegradáveis, cujo valor pode ser 4 vezes superior ao dos materiais não biodegradáveis.

Mas será que não vale a pena investir na otimização desta solução?

8.1 Reciclagem vs Compostagem

A reciclagem do plástico é, ao mesmo tempo uma atividade económica e ambiental. O retorno que se obtém da reciclagem inclui o próprio material (via processos mecânicos), energia (via incineração) e fontes de carbono.

Para as empresas de reciclagem, os custos altos, referentes ao transporte e processamento, são uma dura realidade. Devido ao elevado preço do gasóleo e aos custos associados ao equipamento, a maior parte dos plásticos são reciclados no próprio município.

Depois de recolhidas, as cápsulas são levadas até a um centro de gestão e tratamento de resíduos industriais onde são trituradas e lavadas. Seguidamente, são colocadas numa centrifugadora (para se separar as matérias mais leves), o moído é seco e colocado em sacos grandes. Esses *big bags* são levados para uma empresa de transformação de plástico que o utiliza em vários tipos de aplicações.

A reciclagem é um fim dispendioso, comparativamente aos custos de processamento do polímero original. Por exemplo, a reciclagem de PET custa cerca de 508 a 618 euros por tonelada, e o seu processamento pode custar entre 500 a 1250 euros a tonelada, dependendo das características finais do produto [12],

É, de facto, da maior importância o desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis de fontes renováveis de matérias-primas, para a produção de polímeros degradáveis num tempo útil adequado. O objetivo mundial é conseguir que as energias de fontes renováveis representem metade do consumo mundial, a partir de 2050.

A ideia fundamental da compostagem é a redução da quantidade de resíduos sólidos urbanos, dos quais os plásticos representam 20 a 40 % [12].

Torna-se, assim, de extrema importância, que as empresas apoiem e apostem cada vez mais na investigação de materiais plásticos biodegradáveis para substituir os plásticos, obtidos a partir de combustíveis fósseis.

8.2 *Impacte ambiental e destino dos plásticos*

A eliminação dos plásticos, por incineração contribui para a poluição, e a sua deposição em aterros ou lixeiras torna-se limitada, devido à sobrelotação das mesmas.

Após a sua utilização, o plástico é classificado como um resíduo e pode ter vários destinos: transportado para aterros, reciclado, ou queimado em instalações de incineração para a produção de energia. A energia necessária para a produção de alguns plásticos apresenta-se na ilustração 16 [2].

De um modo geral, o PE necessita de maior quantidade de energia específica para a sua produção do que os plásticos biodegradáveis.

Polímero	Energia (MJ/kg)
PEBD	81
PHA – processo de fermentação	81
PCL	77
PLA	57
TPS + 60% PCL	52
TPS + 52.5% PCL	48
TPS	25
TPS + 15% PVOH	25

Fonte: Patel (2001)

Figura 16 - Impacto ambiental dos polímeros [2]

Outro fator ambiental associado aos plásticos é a sua contribuição para a emissão de gases, com efeito de estufa (GEE). De um modo geral, os plásticos biodegradáveis emitem uma menor quantidade de GEE, durante a sua produção e gestão ambiental.

Polímero	Emissão de GEE x 10 (kgCO ₂ eq./kg)
PCL	53
PEBD	50
PVOH	42
TPS + 60% PCL	36
TPS + 52.5% PCL	33
TPS + 15% PVOH	17
Mater-Bi® filme	12
TPS	11

Fonte: Patel (2001)

8.3 *Legislação*

Há várias normas internacionais que regulamentam a utilização de materiais biodegradáveis. No entanto, a sua maioria diz respeito à sua biodegradação sob determinadas condições e em determinado meio (incluindo as condições de compostagem).

As normas existentes para testar a biodegradabilidade no solo são as seguintes:

- ASTM D6400-04 – Standard specifications for compostable plastics;
- EN 13432 - Comité Europeu de Normalização CEN /TC. Documento prEN 13432: 2000. Packaging – Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.

A norma mais utilizada é a EN13432. De acordo com a norma europeia EN 13432, um material compostável deve cumprir os seguintes requisitos:

- Biodegradabilidade - no prazo de 6 meses deve atingir-se 90% do valor de biodegradabilidade obtido pela referência (celulose).
- Desintegrabilidade - a fração com resíduos superiores a 2 mm deve ser inferior a 10%, ao fim de 3 meses (EN 14045).
- Os teores de metais pesados no composto devem ser inferiores a valores pré-definidos e não devem registar-se efeitos negativos na qualidade do composto.

Capítulo III

Parte experimental

9 *Estudo da matéria-prima*

As propriedades mecânicas dos polímeros não biodegradáveis são melhores que as dos polímeros biodegradáveis. Tem-se assistido, ultimamente, a um grande investimento, por parte das empresas, no que diz respeito à investigação da melhoria das propriedades dos materiais biodegradáveis.

Neste enquadramento, na primeira fase do projeto, foi levado a cabo um estudo de mercado de todos os polímeros biodegradáveis. Os principais requisitos a cumprir eram suportar:

1. Pressão de 19 bar;
2. Aproximadamente 90°C de temperatura de funcionamento.

No seu decurso, e com o objetivo de se comparar as propriedades mecânicas de cada material, na base de comparação optou-se pelo PP copolímero (que já é utilizado para a produção das cápsulas) e uma matéria da Bio-Flex, já utilizada na produção de cápsulas biodegradáveis.

Após saturada pesquisa, foram encontrados os seguintes *grades* de matéria-prima, para posterior análise:

- Apinat DP2267/1 P35 C1;
- Apinat DP2267/2 P35 C1;
- Apinat DP2289/2.

Por razões que se prendem com questões associadas ao patenteamento, a empresa produtora dos três *grades* não divulgou o tipo de polímero base utilizado, permitindo apenas que se poderia referir que o mesmo pertencia à família dos co-poliésteres.

Trata-se de materiais biodegradáveis, próprios para a utilização na moldação por injeção, cujas características, a seguir, se enumeram:

1. Polímero atóxico;
2. Biodegradável, de acordo com a norma EN 13432;
3. Cor neutra, podendo ser misturado com vários *masterbatch* (também eles biodegradáveis);
4. Reciclável.

9.1 Comparação das características mecânicas

Tabela 2 - Apinat DP 2267/1

Material	Propriedade	Resultado	Unidade
Apinat DP2267/1 P35 C1	Densidade	1.32	
	Dureza	72	Shore D
	Resistência à tração	36	MPa
	Enlongamento de rotura	51	%
	Módulo flexão	1350	Mpa
	MFI (190 °C, 49,05 N)	79	g/10min

Tabela 3 - Apinat DP2267/2

Material	Propriedade	Resultado	Unidade
Apinat DP2267/2 P35	Densidade	1.32	
	Dureza	72	Shore D
	Resistência à tração	36	MPa
	Enlongamento de rotura	51	%
	Módulo flexão	1350	Mpa
	MFI (190°C, 49,05N)	79	g/10min

Tabela 4 - Apinat DP 2289/2

Material	Propriedade	Resultado	Unidade
Apinat DP 2289/2	Densidade	1.25	
	Dureza	74	Shore D
	Resistência à tração	40	MPa
	Enlongamento de rotura	50	%
	Módulo flexão	1400	Mpa

Características do PP copolímero, não biodegradável:

Tabela 5 - PP copolímero

Material	Propriedade	Resultado	Unidade

PP	Densidade	905	
	Dureza	89	R-scale
	Resistência à tração	5	MPa
	MFI (230°/2,16 Kg)	50	g/10min
	Módulo tensão	1500	Mpa

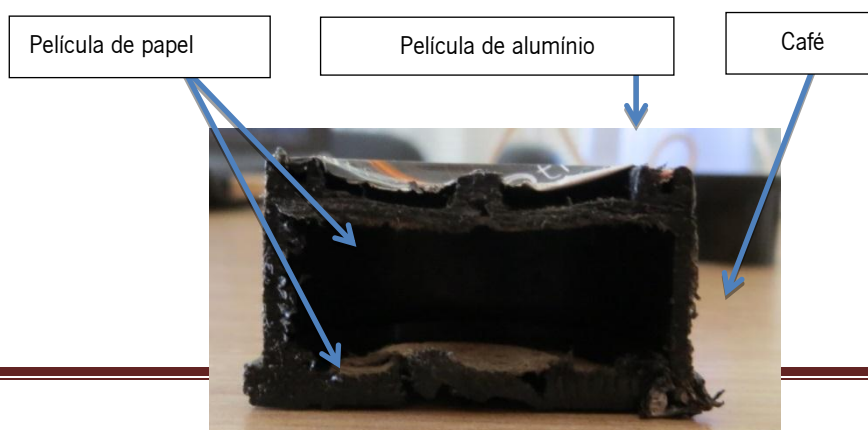
As matérias Apinat seguem as normas ASTM e as do PP copolímero regem-se pelas normas ISO.

10 Constituição da cápsula

A cápsula de café que foi pensada para posterior desenvolvimento é constituída pelos seguintes componentes:

1. Café;
2. Filme de plástico;
3. Plástico da cápsula;
4. Alumínio;
5. Papel.

Para uma melhor compreensão, considera-se pertinente a verificação de todos os componentes, bem como da função individual de cada um deles.



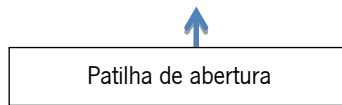


Figura 18 - Constituição da cápsula

10.1 Funções de cada componente

Película de alumínio – É soldada à cápsula em vácuo e tem como principal função garantir a boa qualidade do café.

Película de papel – É colocada nas duas faces da cápsula e permite que a água passe durante a tiragem de um café. O café em estado sólido não consegue atravessar esta folha, permanecendo dentro da cápsula.

Patilha de abertura – Após a colocação da cápsula na máquina, a patilha é quebrada, permitindo que aquela seja atravessada pela água.

11 Cápsula em PP copolímero - Constituição

A constituição da cápsula em PP copolímero pode ser observada na seguinte figura:

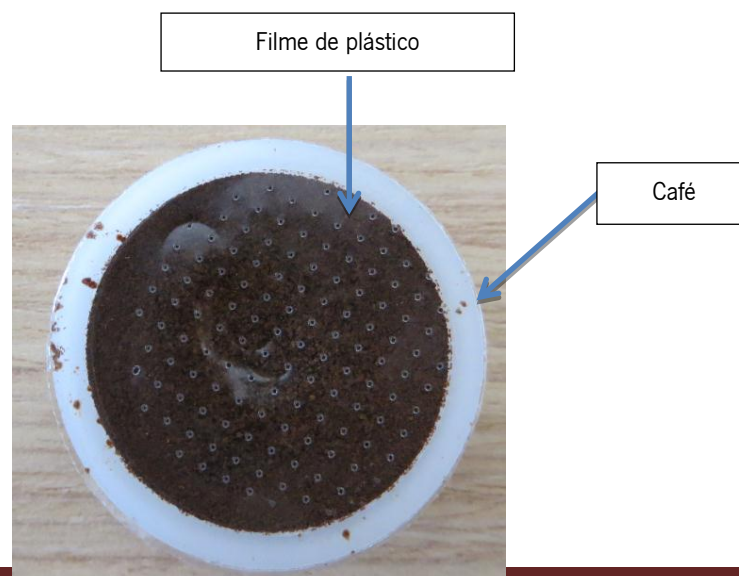


Figura 19 - Constituição da cápsula 2

11.1 Funções de cada componente

Filme de plástico – O filme é soldado à cápsula e tem as seguintes funções: assegurar a qualidade do café, desde que ele é embalado, até ao momento em que é extraído; e tem também propriedades barreira: no momento em que a cápsula é atravessada pela água, o filme apenas permite que a água passe, permanecendo o café na cápsula.

Cápsula – Compartimento para guardar café.

12 Cápsulas - Medidas

Uma das etapas mais importantes deste projeto passava pelo desenvolvimento da cápsula. Nesta perspetiva, optou-se por se seleccionar o *design* de uma outra cápsula, já existente no mercado, mas que permitisse uma otimização daquela que se pretendia criar. Encontrado o modelo, retiraram-se as suas medidas e comparou-se com as da cápsula já existente (em PP) para posterior melhoria.

Legenda:

1. Diâmetro inferior externo;
2. Diâmetro inferior interno;
3. Espessura;
4. Altura 2;
5. Altura;
6. Diâmetro superior

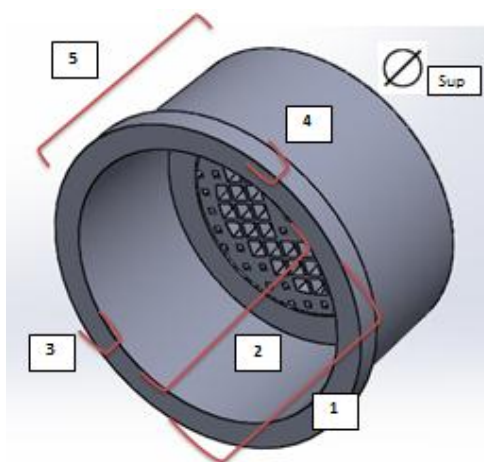


Figura 20 - Medidas da cápsula

Medidas	Cápsula a desenvolver	PP copolímero
Diâmetro superior	34.95 mm	33.82 mm
Diâmetro inferior externo	39.06 mm	38.54 mm
Altura	19.58 mm	20.88 mm
Diâmetro inferior interno	31.43 mm	32.59 mm

Tabela 6 -
Medidas
da
cápsula

Altura 2	2.57 mm	3.00 mm
Espessura	4.92 mm	4.58 mm
Peso	-	4.35 g

Os dados apresentados na tabela 6 demonstram que as medidas são praticamente iguais, o que nos permite concluir que não é por esta razão que a cápsula não está a ser bem vedada.

Por isso, deve-se verificar qual a posição de encaixe da cápsula nos vedantes das máquinas de café e comparar os dois casos.

12.1 Teste tentativa erro nas duas máquinas

Por razões que se prendem com a proteção de dados das empresas envolvidas neste projeto, considerou-se pertinente identificar as duas máquinas de teste da seguinte forma: máquina X, para sistema novo de máquinas de café e máquina Y, do sistema antigo.

A máquina X é a aquela onde se pretende que a nova cápsula funcione. Na máquina Y, do sistema antigo, a cápsula de café, em desenvolvimento, já funciona.

Seguidamente, inseriu-se a cápsula antiga na máquina X com o principal objetivo de se verificar todos os modos de falha deste teste.

Posteriormente, colocou-se a cápsula que se quer desenvolver na máquina Y, para verificar o seu funcionamento, e de forma a retirar as consequentes ilações.

12.2 Teste na máquina X

De seguida, procedeu-se ao teste da cápsula, na máquina X:



Figura 21 - Teste na máquina X

1. Colocar cápsula;
2. Fechar a tampa. Durante este processo, a cápsula é furada nas duas partes, imagem 4 e 5;
3. Representação do pino que furar a cápsula da parte da frente. Ao contrário da máquina anterior, a cápsula apenas apoia no vedante, nos dois lados;
4. Parte de trás da cápsula;
5. Parte de frente da cápsula.

Neste caso, a cápsula **não é compatível!**

12.3 Teste na máquina Y

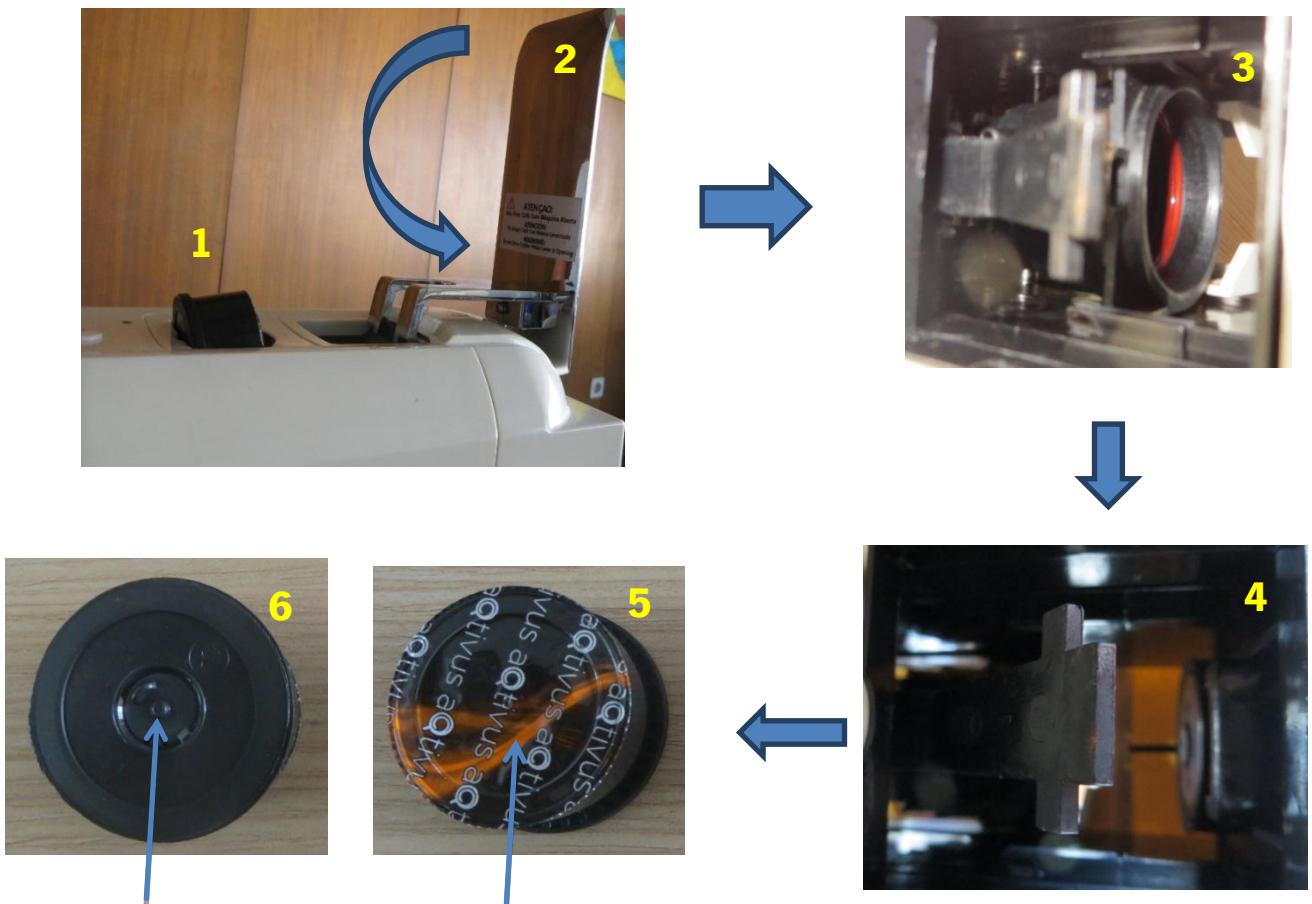


Figura 22 - Teste na máquina Y

1. Colocar cápsula;
2. Fechar a tampa. Durante este processo a cápsula é furada em ambas as partes, etapas 5 e 6, da figura 22;
3. A cápsula cai num invólucro que a reveste a toda a volta, impedindo que restos de café possam sair juntamente com a água;
4. Representação do pino que fura a cápsula da parte da frente;
5. Parte de trás da cápsula;

6. Parte da frente da cápsula.

Esta cápsula **é compatível** com a máquina, uma vez que o vedante garante a total vedação à volta da cápsula, permitindo o seu perfeito funcionamento.

12.4 Principal problema do uso da cápsula a desenvolver na máquina X

Existem diferenças significativas nos vedantes das duas máquinas. Enquanto que numa se utiliza um vedante que envolve toda a cápsula, impedindo a fuga de água da parte traseira, na máquina Y o sistema de vedação é diferente. Este tipo de máquinas de café apenas contêm uma borracha, isolando a cápsula em ambas as partes.



Figura 23 - Vista superior

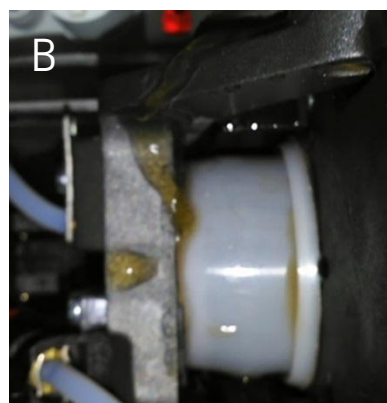


Figura 24 - Vista inferior

Foi realizado um teste, na máquina X, com a cápsula a desenvolver. Filmou-se de dois ângulos (de cima e de baixo) para se verificar a origem da fuga da água.

A imagem “A” foi retirada do vídeo, realizado de ângulo superior. Como se pode verificar, não há qualquer tipo de fugas na parte da frente da cápsula. Esta é completamente estancada pelo vedante.

A imagem “B” representa a filmagem sob o ângulo inferior. Verifica-se que existe uma fuga de água na parte traseira da cápsula, devido à incompatibilidade entre a cápsula e o vedante.

O passo seguinte prendia-se com a verificação estrutural da parte inferior das duas cápsulas.

12.5 Comparação da parte inferior das duas cápsulas

Começou-se por analisar a parte inferior da cápsula que vai entrar em contacto com o vedante.

A nível estrutural, as cápsulas são praticamente idênticas (como foi demonstrado anteriormente), excetuando o número e o tipo de furos que cada cápsula apresenta.

Após uma análise mais detalhada, observou-se que a cápsula B tem mais um elo na sua estrutura que a cápsula A, como demonstrado na figura 25.

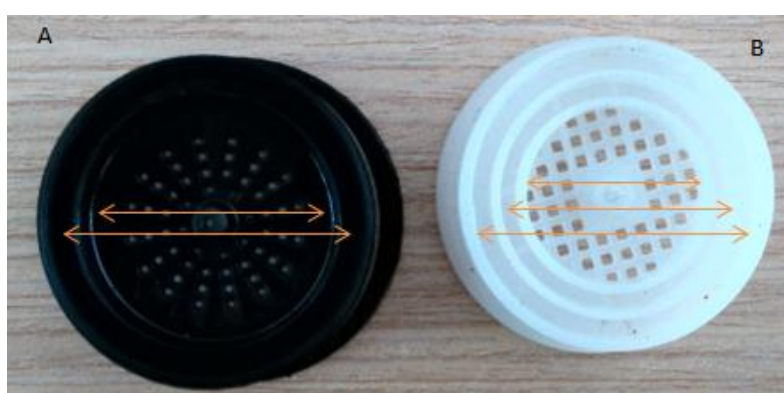


Figura 25 - Comparação das medidas

Ao fechar-se a tampa, estancando a cápsula, as suas circunferências encostam-se num vedante incorporado na máquina. Mediu-se, então, a localização de cada circunferência.

Ainda no que diz respeito à análise da parte superior da cápsula, constatou-se que o pino da cápsula A era maior que o da cápsula B, ou seja, há uma maior área de contacto com o vedante no caso da primeira cápsula, do que no segundo.

Mediu-se a posição dos elos das duas cápsulas e verificou-se que havia diferenças. Sendo assim, projetou-se uma cápsula (em 3D), recorrendo-se programa *SolidWorks*, com as devidas alterações.

13 Teste de biodegradabilidade

Neste tipo de ensaio são normalmente adicionadas peças da amostra de teste ao solo, já cortadas, para que sejam decompostas com o objetivo de se verificar a sua biodegradabilidade.

Para a caracterização das amostras, cortaram-se pedaços de cápsulas biodegradáveis e colocaram-se dentro do composto.

O composto preparado continha uma mistura de materiais, tais como substrato vegetal e lamas ativadas, previamente requisitadas numa ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais). Com uma área de 150 cm^2 , a caixa foi isolada termicamente e a temperatura do meio mantida a $\pm 40\text{ }^\circ\text{C}$. As duas resistências, colocadas em suporte próprio, por condução, aqueceram as duas metades da caixa. Semanalmente, tinha que se acrescentar água na caixa, para que os micro-organismos recebessem oxigénio.

A leitura e oscilação de temperatura eram controladas por um conjunto de termopar e termostato. A preparação e realização para a compostagem teve como base a Norma ASTM D6400 – Especificações para compostagem aeróbica de plásticos.

O teste foi realizado durante um mês (4 semanas). Todas as semanas, eram retiradas fotografias e amostras para observação da decomposição de todos os substratos.



Figura 26 - Teste de biodegradabilidade

14 Ensaios de tração

14.1 Injeção de provetes de tração

A injeção dos provetes de tração foi realizada numa máquina de injeção Ferromatik K85, nos laboratórios da Universidade do Minho.

Pretendia-se, com este ensaio, comparar as propriedades mecânicas do PP copolímero com as das três matérias-primas biodegradáveis. Para o efeito, foram injetados 10 provetes de cada uma das matérias-primas, perfazendo um total de 40 provetes para posterior estudo.

14.2 Preparação provetes

Os provetes com a geometria apresentada na ilustração 27, foram preparados para serem testados no ensaio de tração que se realizou na máquina universal de tração *ZWICK/ROELL Z005*. As condições de ensaio foram as seguintes:

Tabela 7 - Ensaio de tração

Distância entre amarras (mm)	Velocidade do ensaio (mm/min)
110	50

Os objetivos principais subjacentes a este ensaio eram os seguintes:

1. Caracterização mecânica dos provetes;
2. Recolha da informação sobre a força e alongamento;
3. Obtenção, para cada um dos materiais, da curva tensão-deformação, da tensão de cedência, da tensão de rotura, do módulo de elasticidade, da deformação à rotura e à cedência;
4. Comparação dos valores obtidos pelos provetes em PP copolímero e pelas três matérias-primas biodegradáveis.

O ensaio de tração consiste em aplicar ao material um esforço axial, obrigando-o a alongar até à rotura. O corpo de prova é fixado nas duas extremidades pelas amarras e é tracionado gradualmente, registando-se o valor da força. O ensaio termina, assim que se atinja a rotura do material.

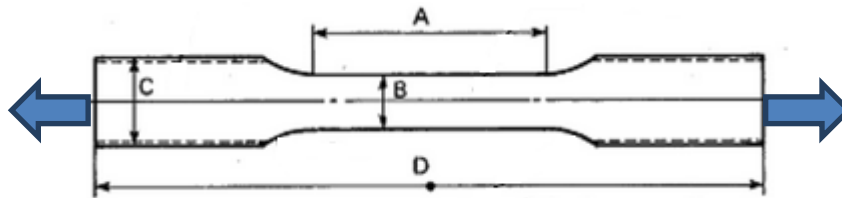


Figura 27 - Provete de tração

Os provetes têm forma retangular e são constituídos por uma zona de menor área de secção transversal, designada de “pescoço”, para que a deformação seja induzida nessa mesma zona. O facto de termos uma zona de área de secção transversal permite afirmar que a rotura do provete não irá ocorrer na zona das amarras.

15 Ensaio de flexão

Outro dos ensaios que foi realizado para a caracterização mecânica das cápsulas, visava testar as propriedades mecânicas do material, quando submetido a esforços de flexão.

Este ensaio consistia na colocação de um provete exposto a uma deflexão a uma determinada velocidade, com uma determinada carga.

O ensaio de flexão foi efetuado segundo a norma ASTM D 790-03, numa máquina de ensaios universal Instron 4505.

De acordo com as especificações das dimensões normalizadas dos provetes, foram injetados e postos à prova dez provetes das três referências de material, num total de trinta amostras.

Como condições de ensaio, colocou-se uma velocidade de 2.8 mm/min, com uma célula de carga de 1 kN e distância entre apoios de 90 mm.

Os dados fornecidos pelo *software* do equipamento permitem obter curvas de força (kN) por deflexão (mm).

Retirando o valor do declive das curvas obtidas e conhecendo as dimensões dos provetes, o módulo é calculado a partir da equação 3.

$$E_f = \frac{L^3 \times m}{4 \times b \times d^3}, [MPa] \quad \text{Equação 1}$$

Onde, **L** é a distância entre apoios, **m** o declive, **b** a largura e **d** a espessura do provete.

Os ensaios de flexão podem ser realizados com imposição de um limite de deflexão ou prosseguirem até se dar a quebra do material. No âmbito deste ensaio, pretendia-se apenas conhecer o módulo de elasticidade à flexão pelo que foi imposto um limite de 10 mm máximo de deflexão, para efeitos comparativos.

16 Ensaio VICAT

Este ensaio é importante no que diz respeito ao trabalho em si, pois permite a medição da temperatura de amolecimento dos materiais. É um fator importante já que a cápsula trabalha a temperaturas relativamente altas: 90°C.

O VICAT, ou temperatura de amolecimento, determina-se a partir de um ensaio em que uma agulha circular, de 1 mm², penetra exatamente 1 mm numa amostra sob uma carga padronizada de 10 N ou 50 N. A temperatura de amolecimento VICAT é padronizada pela ISO 306 e ASTM D 1525.

Para o caso em questão, foi utilizada a norma americana ASTM D1525.

Os resultados obtidos a partir deste teste permitem a comparação da temperatura de amolecimento das várias amostras.



Figura 28 - Máquina de ensaios VICAT

17 FDM – Fused Deposition Mold

FDM, ou *Fused deposition Mold*, é um processo de fazer objetos em 3D, através da deposição de sucessivas camadas de material.

Os equipamentos de prototipagem rápida começaram por ser desenvolvidos nos anos 80, mas foi apenas a partir da década de 90 que a empresa *Stratasys* começou a apostar mais na comercialização deste tipo de impressão 3D .

Estas máquinas têm como principais objetivos o desenvolvimento de produtos, a visualização prévia da peça e a rápida conceção de um protótipo funcional.

A expansão das *3D Printers* foi de tal forma significativa que passou de uma técnica apenas de prototipagem para a produção em massa.

O processo consiste no seguinte:

1. Há uma preparação através de um programa 3D CAD em que este lê o ficheiro (.STL) e calcula qual será a posição da cabeça de extrusão e se serão necessárias camadas de suporte;
2. A cabeça de extrusão aquece e deposita o filamento em várias camadas através do caminho que lhe foi indicado;
3. O protótipo está acabado e será agora necessário retirar algum material de suporte através de dissolução em componentes químicos ou apenas manualmente.

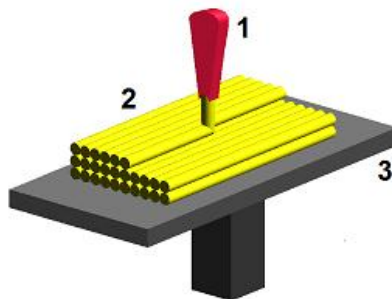


Figura 29 - Funcionamento da 3D Printer

As aplicações são inúmeras, podendo ser aplicadas em arquitetura, na indústria do *design*, indústria do automóvel, indústria joelheira, etc.

Os principais filamentos termoplásticos utilizados são o ABS e PLA.

Capítulo IV

Resultados e discussão

18 Alterações efetuadas na cápsula

Para que a cápsula vedasse corretamente, foram produzidas algumas alterações respeitantes à constituição física da mesma.

Para esse fim, foi utilizado o *software* de modelação 3D, *SolidWorks*. As alterações são as apresentadas, em baixo:

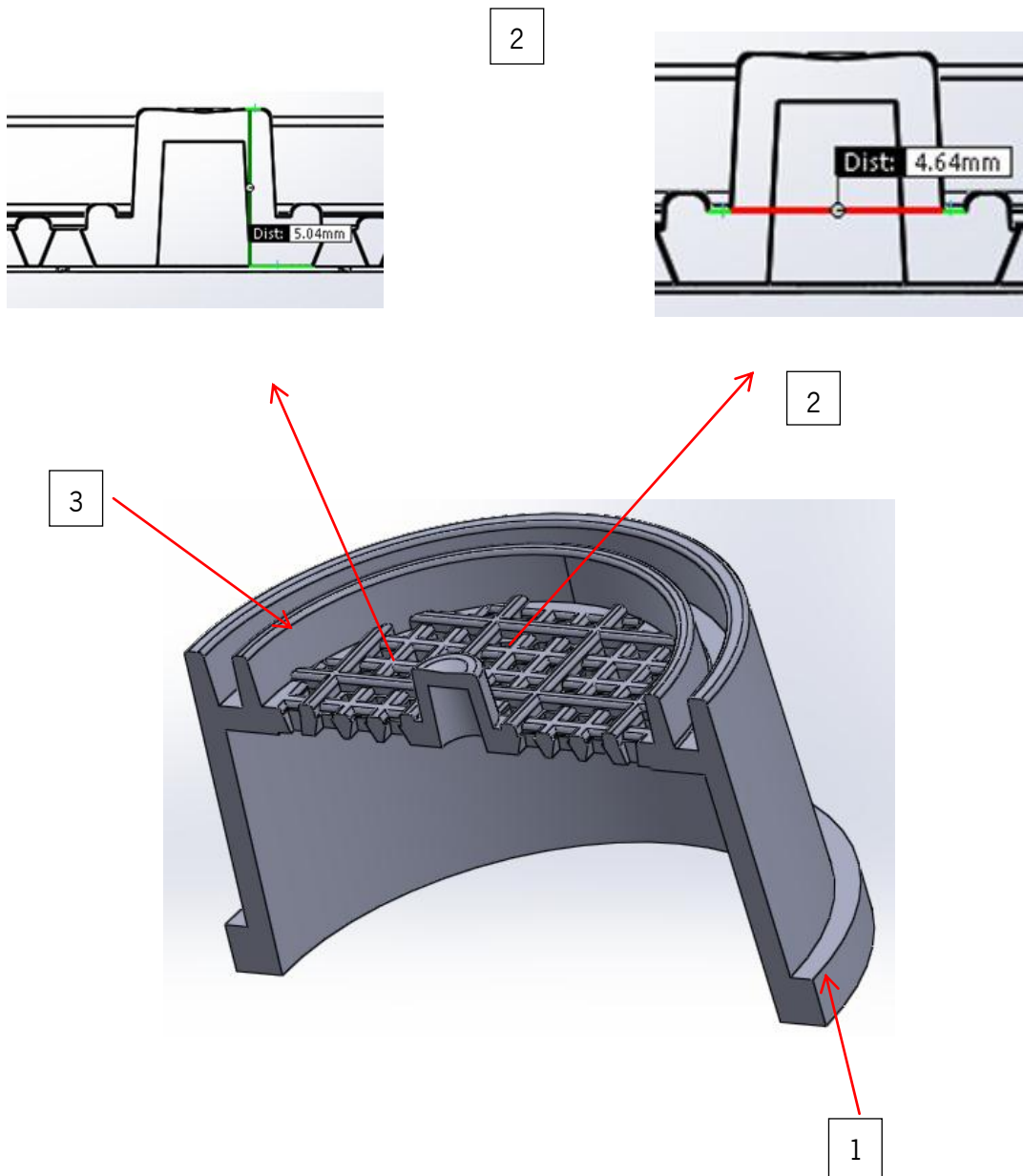


Figura 30 - Alterações na cápsula

1. Na cápsula anterior, esta parte estava aberta. Trata-se apenas de uma alteração a nível estético;
2. As alterações em 2 dizem respeito ao pino exterior: aumentaram-se as dimensões do mesmo para que a área de contacto com o vedante da máquina aumentasse. Foi realizado um teste em que se colocou um pouco de papel na extremidade do pino. Colocou-se a cápsula na máquina e constatou-se que a quantidade de água que escorria tinha diminuído;
3. Por último, alterou-se o número de elos na parte inferior da cápsula: ao verificar a constituição e a posição do vedante, percebeu-se que o apoio da cápsula não era o melhor. Assim, diminuiu-se o número de elos de 3 para 2, tendo em vista um encaixe perfeito da cápsula no vedante da máquina, para que não houvesse qualquer infiltração de água.

19 Protótipos

Após a realização das modificações, através do *Solidworks*, construiu-se um protótipo de funcionamento numa *3D Printer*. Trata-se de um processo que, basicamente, consiste no aquecimento de material termoplástico (neste caso, o polímero utilizado foi o ABS), numa cabeça de extrusão para posterior deposição, camada a camada, numa base de suporte.

O resultado obtido, como se verifica na figura 32, não foi o melhor. Obteve-se uma peça com bastante material de suporte, retirado posteriormente, constatando-se que a cápsula não apresentava a melhor precisão.



Figura 31 - Protótipo antes maquinação

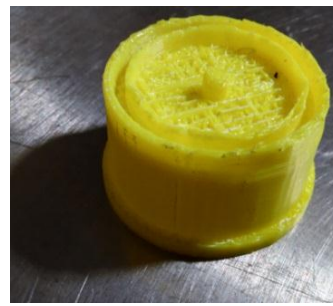


Figura 32 - Protótipo depois da maquinação

Seria necessário que a cápsula fosse dimensionalmente precisa para que o contacto cápsula/vedante fosse o melhor possível. No decurso deste processo, vislumbrou-se o resultado final, sobretudo a nível estético: um aspeto positivo.

Na tentativa de uma melhor solução, partiu-se para nova etapa. Assim, a partir de um varão em POM, figura 33, maquinou-se o protótipo, através de uma CNC (Comando Numérico Computarizado).

A maquinação em CNC é uma técnica precisa, uma vez que permite o controlo simultâneo de vários eixos, através de uma lista de movimentos escrita num código específico. O varão, com 45 mm de diâmetro e um comprimento de 1000 mm, foi utilizado para a produção de três peças protótipo para posterior utilização.



Figura 33 - Varão em POM

19.1 Protótipo em CNC

A ilustração 41 apresenta as peças obtidas, através do varão de POM. Aqui podemos comparar a cápsula protótipo (em branco) com a cápsula que se quer desenvolver. As cápsulas estão praticamente iguais, embora haja uma pequena diferença entre as duas no que diz respeito ao número de furos existentes no topo da cápsula.



Figura 34 - Topo e fundo do protótipo

20 Teste de funcionamento na máquina de café

O teste seguinte pretendia verificar se o protótipo produzido tinha as dimensões adequadas para o seu bom funcionamento.

Assim, simulou-se a tiragem de um café com o protótipo produzido, sem café na cápsula, uma vez que o principal objetivo era, exclusivamente, verificar a vedação correta da cápsula. Infelizmente, depressa se constatou que havia problemas a esse nível: apesar do fluxo de água ter reduzido muito em relação à antiga cápsula, ainda não era o suficiente.

Pensou-se então que a cápsula teria demasiada pressão no interior, uma vez que os furos que determinam a pressão da água não estavam exatamente replicados como na cápsula original. Foram abertos mais furos no centro da cápsula, como se pode verificar pela figura 35. Este processo permitiu uma descompressão dentro da cápsula, o que fez com que a água passasse a fluir corretamente ao longo da mesma.



Figura 35 - Alteração na cápsula

Testou-se, seguidamente, a cápsula e verificou-se que a vedação apresentava melhorias, impedindo que a água escorresse através da máquina. Após várias replicações, o resultado manteve-se sempre positivo.

21 Teste nas máquinas de versões anteriores

Constatado o sucesso da utilização da cápsula na máquina X, testou-se o protótipo na máquina Y. Convirá recordar, nesta altura, que outro dos objetivos deste projeto consistia no desenvolvimento da cápsula nas novas máquinas, permitindo que esta, simultaneamente, pudesse ser utilizada noutras de modelos anteriores.

Assim sendo, testou-se a nova cápsula nas máquinas antigas (máquinas Y) e verificou-se que não funcionava: a vedação não era a mais correta, não permitindo sequer a passagem de água.

Partiu-se, então, para uma análise mais detalhada da cápsula antiga (cápsula B) e da cápsula que funciona nas duas máquinas (cápsula A), conforme figura 36.



Figura 36 – Demonstração do abaixamento da rede

Após a comparação das duas cápsulas, constatou-se que um possível problema seria a inexistência do terceiro elo, no protótipo (foi retirado para funcionar na máquina mais recente). No entanto, a cápsula A também não possui esse elo, conforme figura 36. Porém, a zona onde existia o 3º elo estava mais saliente, resultante de uma compactação do café contra a cápsula, durante a sua embalagem. Duvidou-se que a saliência poderia estar a ter o mesmo efeito que o 3º elo.

Para comprovar essa teoria, retirou-se o café de dentro da cápsula A, para observar qual seria o comportamento daquela zona, sem a pressão causada pelo café.



Figura 37 - Cápsula A, sem café

Como se pode verificar na figura 37, houve uma grande descompressão na zona que continha o café, fazendo com que a própria cápsula ficasse exatamente com as mesmas medidas da cápsula protótipo.

Assim, testou-se novamente a cápsula, desta vez sem café. O resultado foi o mesmo apresentado pela cápsula protótipo, ou seja: não houve qualquer tipo de vedação por parte da cápsula o que provocou fuga de água.

Uma das principais diferenças entre as cápsulas, se atentarmos ao produto final, verifica-se no filme existente na parte inferior. A cápsula A apresenta uma película em PBT, ao contrário da cápsula B, o que permite que aquela seja embalada sob pressão, provocando na zona da rede (identificada na figura 37), uma saliência como que se tratasse do 3º elo. O mesmo não acontece na cápsula B, dada a inexistência da pressão.

22 Ensaio de matéria-prima

Como foi referido anteriormente, foram efetuados vários ensaios, tendo como objetivo primordial a obtenção da matéria-prima mais apropriada para esta aplicação.

Os principais requisitos eram a pressão (19 bar) e temperatura de funcionamento (aproximadamente 90°C).

Assim sendo, realizaram-se os seguintes ensaios de caracterização:

1. Ensaio de tração e de flexão (figura 38), uma vez que a cápsula está sujeita a este tipo de esforços durante o seu funcionamento;

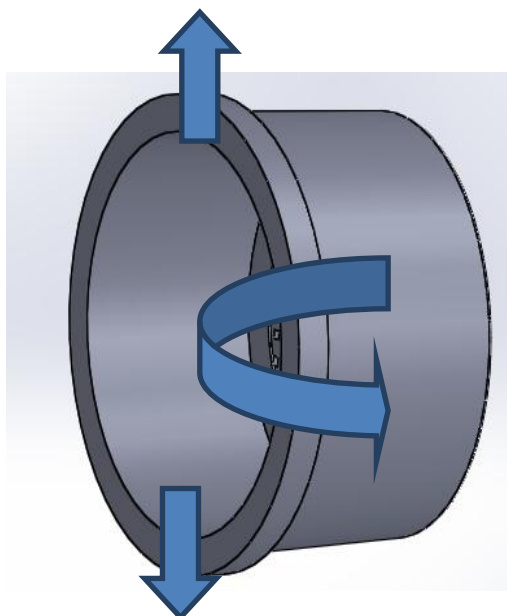


Figura 38 - Esforços tração e flexão

2. Ensaio de biodegradabilidade: teste à biodegradabilidade dos materiais;
3. VICAT: determinar e comparar as temperaturas de amolecimento.

22.1 Ensaios de tração

Nesta secção serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios de tração das várias matérias-primas.

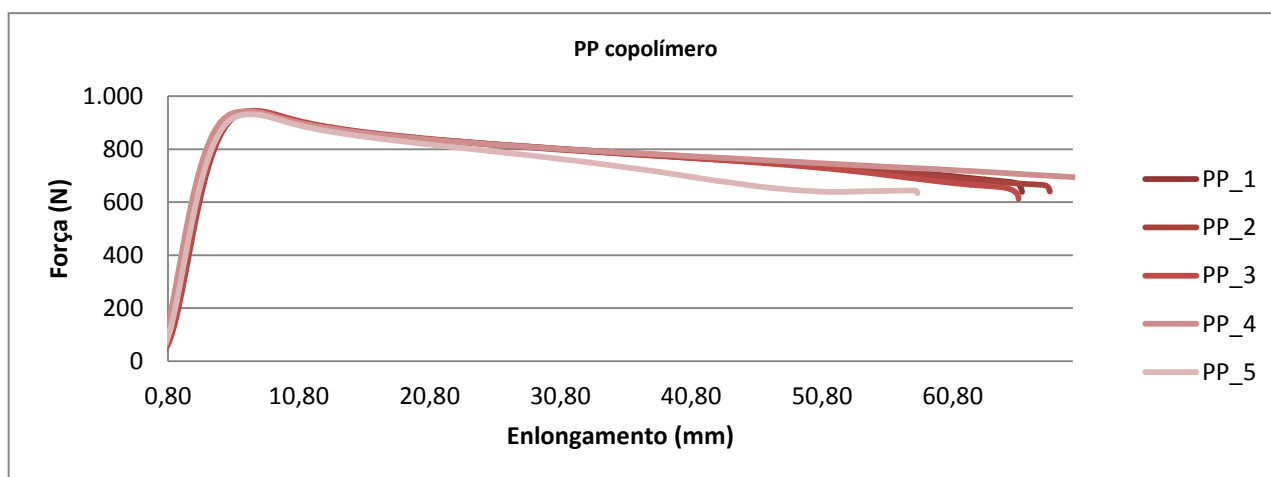
Os ensaios foram realizados para posterior comparação entre os diferentes polímeros uma vez que, ao serem analisadas as diferentes fichas técnicas dos materiais, concluiu-se que não se poderiam comparar através deste meio. Os dados expressos nas fichas técnicas correspondem a ensaios baseados em diferentes normas, ou seja, uns foram feitos com base nas normas ISO e outros com base nas ASTM. Isso significa que os ensaios foram realizados em condições experimentais diferentes.

Nesta conformidade, optou-se pelas mesmas condições experimentais para todos os ensaios, conforme se demonstra seguidamente:

Tabela 8 - Condições de processamento

Distância entre amarras (mm)	Velocidade do ensaio (mm/min)	Temperatura (°C)
110	50	25

Nos gráficos seguintes, encontram-se os gráficos da força em função do alongamento obtido diretamente dos três ensaios de tração:



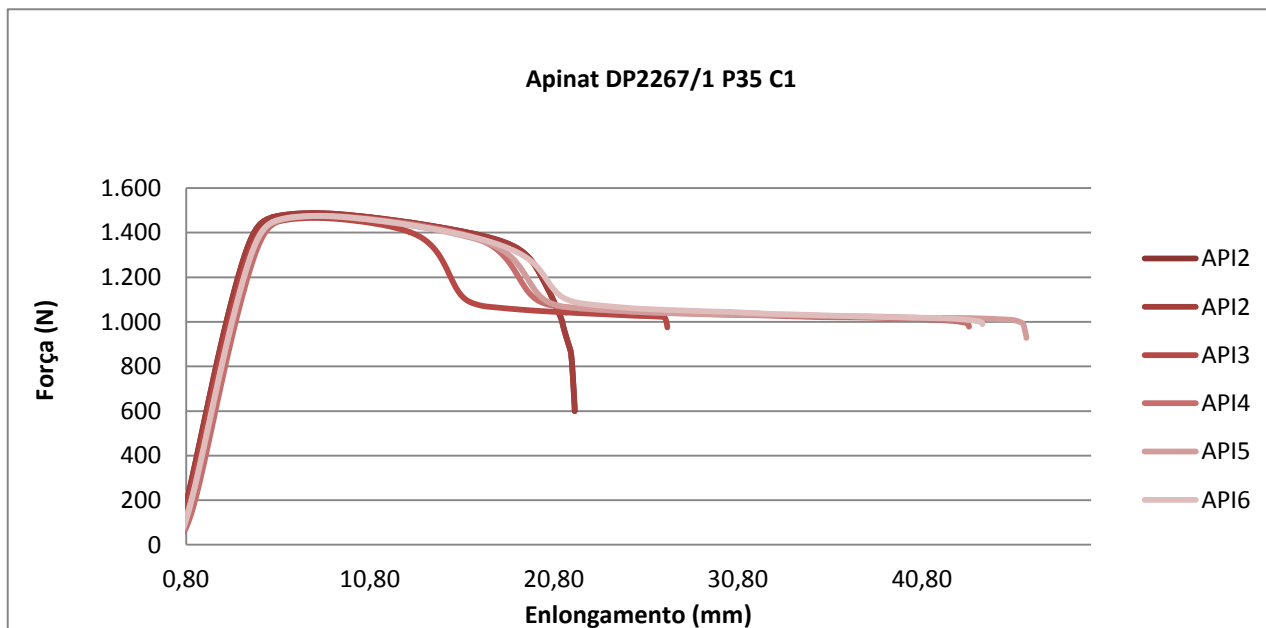


Figura 41 - Força vs Enlongamento Api DP 2267/1

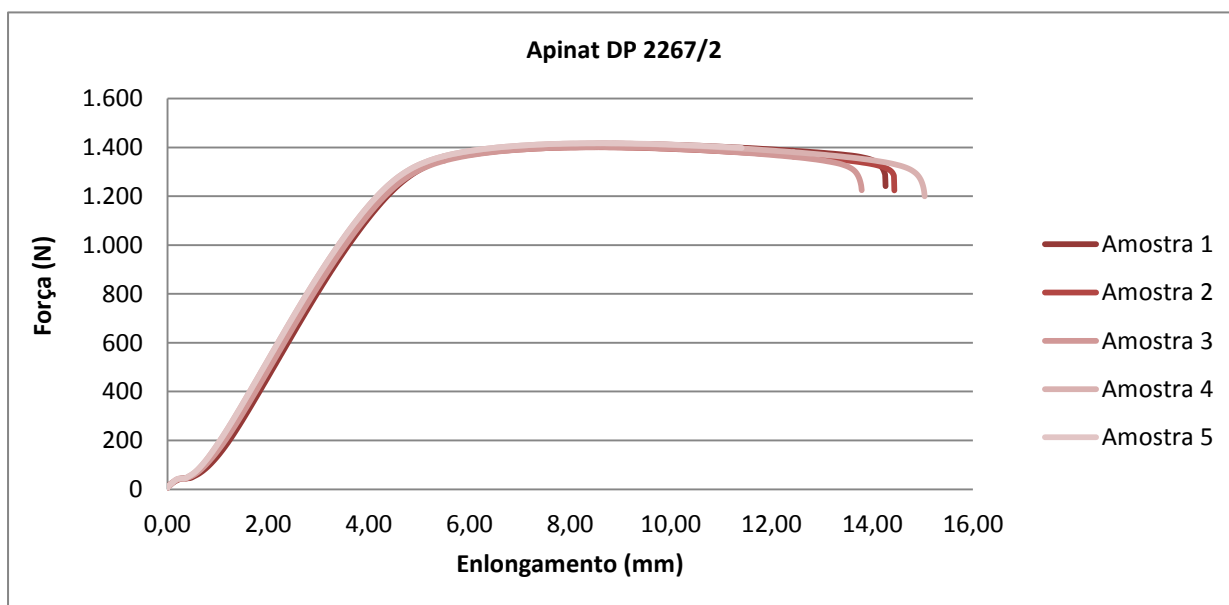


Figura 40 - Força vs Enlongamento Api DP 2267/2

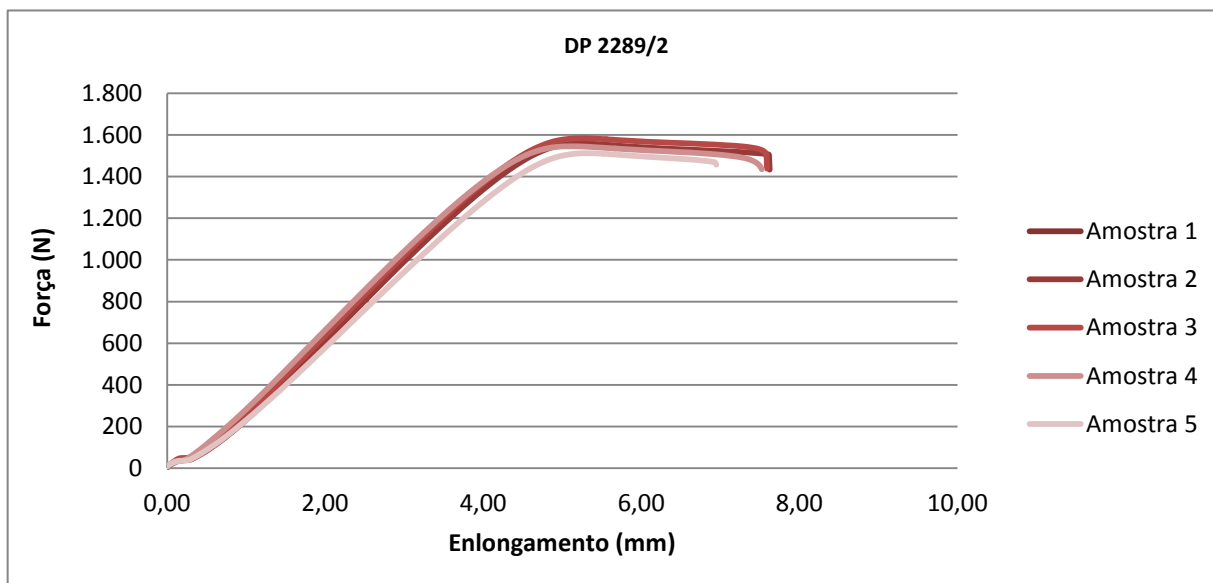


Figura 42 - Força vs Enlongamento Api DP 2289/2

Os resultados acima apresentados foram conseguidos após a realização do ensaio de dez provetes para as quatro matérias-primas em estudo, num total de quarenta provetes e estão descritos em quatro gráficos "Força vs Enlongamento". Como se pode verificar, os resultados são bem distintos nos quatro tipos de materiais.

Partiu-se do princípio que as bases de comparação, ou seja, os parâmetros que iriam ser estudados para serem comparados seriam os valores do módulo de elasticidade e da deformação na rotura. Optou-se por estes parâmetros por se considerar que são os que melhor se encaixavam para uma comparação neste tipo de aplicação.

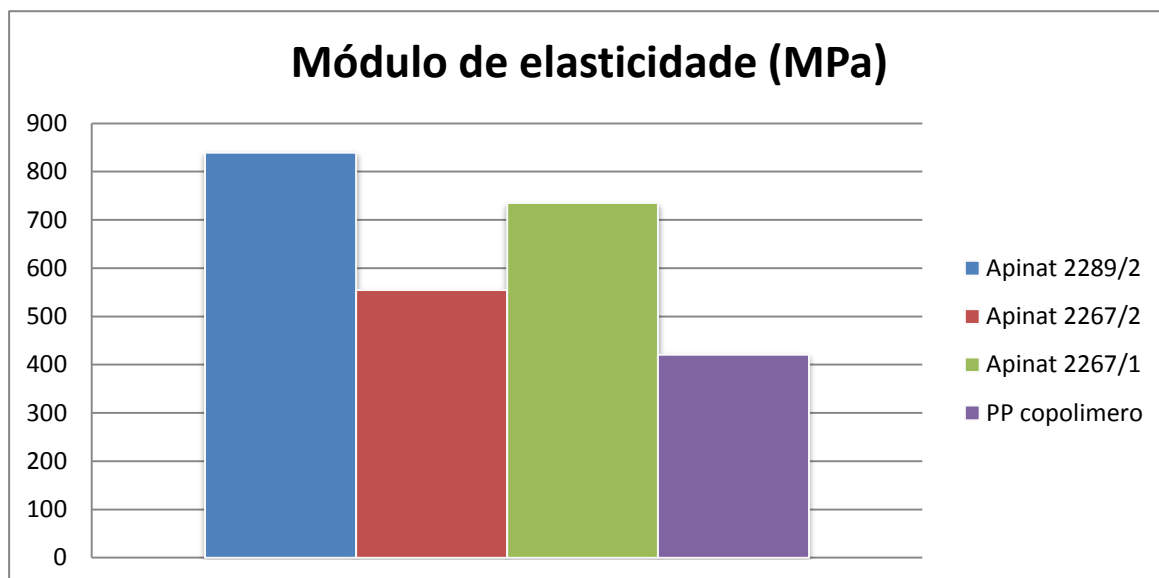


Figura 43 - Deformação na rotura

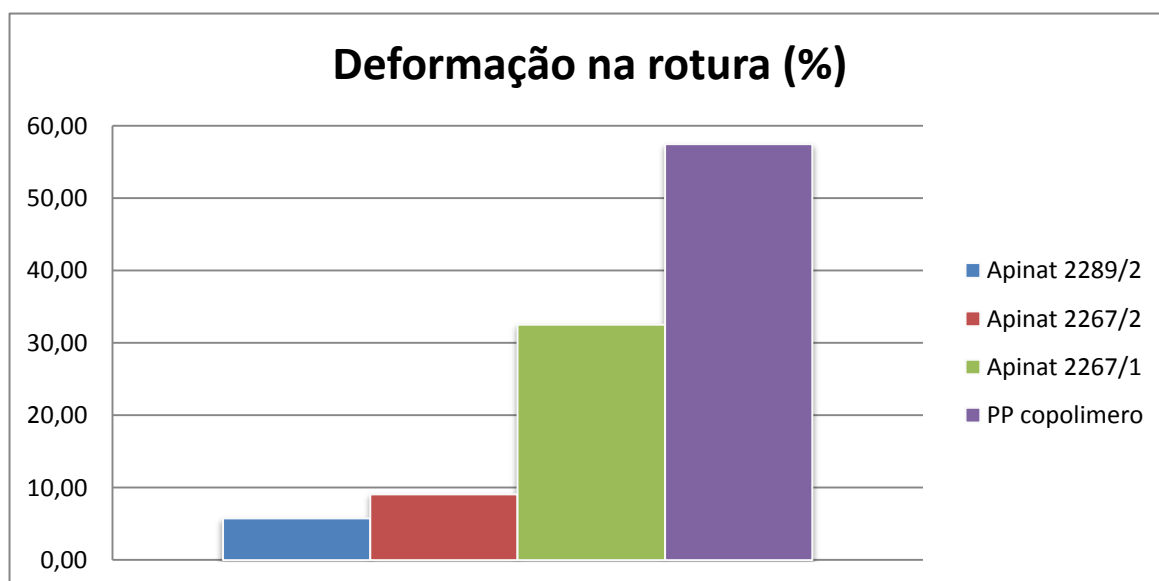


Figura 44 - Módulo de elasticidade

Fizeram-se as tabelas 43 e 44, como forma de resumo, para os valores do módulo de elasticidade e da deformação de rutura, que se obteve através dos ensaios de tração.

Como já foi explicitado, estes ensaios teriam que decorrer sob as mesmas condições de teste (temperatura ambiente a uma velocidade de 50 mm/min).

O PP copolímero é aquele que é atualmente utilizado para a produção das cápsulas. Sendo assim, é o polímero que servirá como base de comparação com os outros.

Na figura 43, pode-se verificar que há resultados distintos para as matérias-primas, em que o módulo de elasticidade varia desde os 400 MPa (para o PP copolímero) até aos 800MPa (aproximadamente), para o material Apinat 2289/2. No que diz respeito ao módulo de elasticidade, o resultado que se apresenta mais próximo do PP copolímero é o do Apinat 2267/2, que tem um módulo de elasticidade de, aproximadamente, 500 MPa.

Na figura 44, encontra-se uma tabela resumo dos valores da deformação de rotura para as diferentes matérias-primas.

Tal como aconteceu no cálculo do módulo de elasticidade, também aqui se encontram valores muito diferentes entre si. Neste caso, os valores variam entre 5% e os 55 %, em que o máximo foi obtido pelo PP copolímero e o mínimo foi obtido pelo Apinat 2289/2.

Os valores são muito diferentes devido à sua natureza química diferente, ou seja, o PP é um produto muito mais versátil que as restantes matérias-primas, o que faz com que tenha uma maior capacidade de deformação em relação aos outros polímeros.

22.2 Ensaio de flexão

Numa primeira fase, injetaram-se dez provetes com a medida padrão para os de impacto, num total de trinta amostras a serem analisadas. O ensaio de flexão foi efetuado segundo a norma ASTM D 790-03, numa máquina de ensaios universal Instron 4505.

Foi retirado o valor do módulo de elasticidade de um outro polímero, já utilizado para a produção de cápsulas biodegradáveis. Assim, conseguiu-se uma comparação mais realista. A partir das curvas obtidas de cada ensaio, calculou-se o módulo de elasticidade e fez-se uma média dos resultados obtidos.

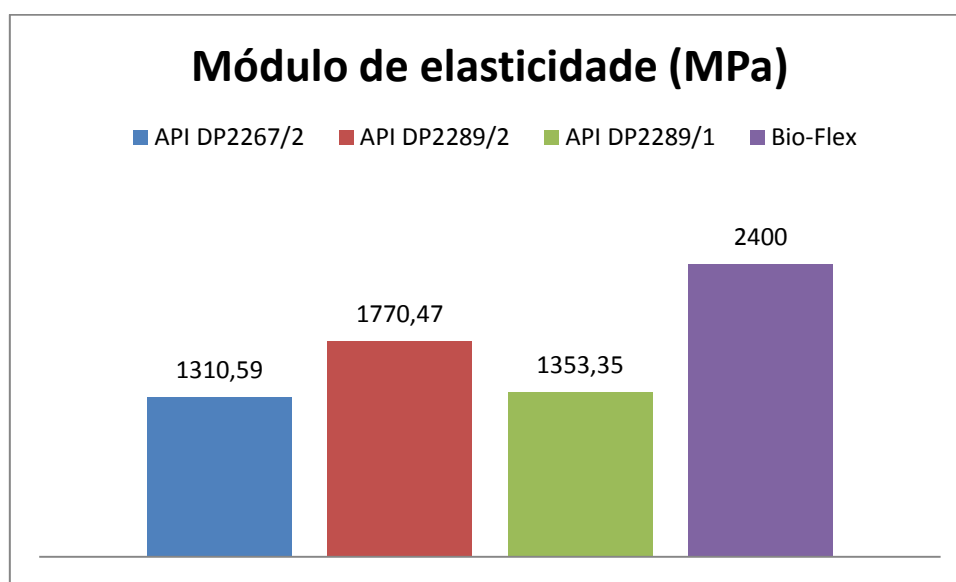


Figura 45 - Módulo de elasticidade à flexão

Como se pode verificar, os módulos das 3 matérias-primas são muito semelhantes, mas ainda um pouco distante do valor da referência, 2400 MPa.

No entanto, a cápsula apenas tem de resistir a uma pressão de 19 bar, ou 1,9 MPa, o que faz com que qualquer um dos 3 materiais testados seja adequado para esta aplicação.

22.3 VICAT

Para o cálculo da temperatura de amolecimento, foram aproveitados os provetes que se utilizaram para os ensaios de flexão, uma vez que têm a medida certa para este ensaio.

Colocaram-se 2 amostras de cada matéria-prima no instrumento, num total de três amostras.

Também para o caso deste ensaio experimental, utilizou-se o valor do VICAT da matéria-prima, já utilizada neste tipo de aplicações (Bio-Flex), para uma comparação.

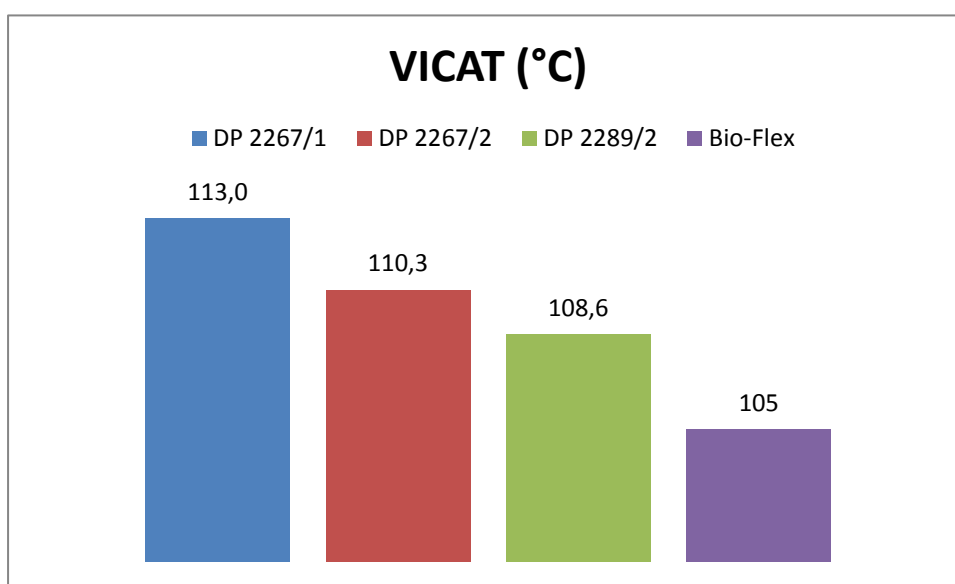


Figura 46 - Temperatura de amolecimento

Todos os materiais que foram testados estão acima do valor exigido, ou seja, a agulha apenas penetra a temperaturas a rondar os 105°C.

Uma vez que a cápsula tem uma temperatura de funcionamento de aproximadamente 90°C e, como se pode verificar na figura 46, todos os valores estão acima dos 90°C, pode-se afirmar que qualquer matéria-prima, no que diz respeito a este parâmetro, pode ser utilizada.

22.4 Resultados - Ensaio de biodegradação

Durante cada uma das quatro semanas, foram retiradas amostras, das 3 referências de materiais, com o objetivo de se exibirem posteriormente, e para verificação da fragilidade de cada peça.

Se seguirmos atentamente a sequência das quatro imagens abaixo, constatamos facilmente que, ao longo das quatro semanas a cápsula desintegrou-se, o que correspondia ao expectável, ou seja, atingiria a fase da desintegrabilidade da biodegradação.

Matéria Prima: Apinat DP2267/1 P35 C1



Figura 48 - Biodegradação semana 1

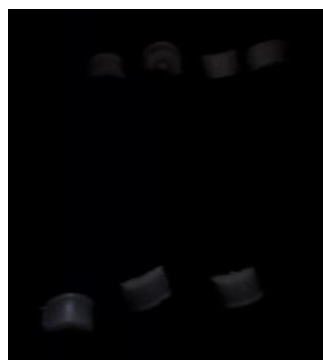


Figura 47 - Biodegradação semana 2



Figura 49 - Biodegradação semana 3

Figura 50 - Biodegradação semana 4

Matéria Prima: Apinat DP2267/2 P35 C1



Figura 52 - Biodegradação semana 1



Figura 51 - Biodegradação semana 2



Figura 53 - Biodegradação semana 4

Matéria Prima: Apinat DP2289/2



Figura 54 - Biodegradação semana 1



Figura 55 - Biodegradação semana 2



Figura 56 - Biodegradação semana 4

23 Comparação dos materiais em termos de preço

Nesta altura do processo, considerou-se relevante a comparação dos preços dos materiais testados, procurando, assim, justificar a aposta das empresas numa tecnologia que é seguramente mais cara que a atual, mas que apresenta potencialidades que provavelmente trarão alguma atratividade na relação custo/benefício.

Compararam-se os três materiais biodegradáveis da Apinat - (Apinat DP2289/2, o Apinat DP2267/2 P35 e o Apinat DP2267/1 P35) - com o PP copolímero, derivado a 100% de combustíveis fósseis e não-biodegradável.

Tabela 9 - Preços das matérias-primas

APINAT DP2267/1 P35 C1	APINAT DP2267/2 P35 C1	APINAT DP2289/2	PP copolímero
6.00 € /Kg	6.00 € /Kg	6,10 € /kg	1,54 € /kg

Como se pode verificar pela tabela 9, o preço dos materiais biodegradáveis é bastante superior ao do PP copolímero: quase 4 vezes mais caro.

Todavia, e reiterando o anteriormente afirmado, espera-se que as empresas apostem cada vez mais nas soluções “verdes” que, apesar de apresentarem um preço de mercado mais elevado, são uma alternativa ecológica, cada vez mais viável, em relação aos polímeros fósseis, uma vez que os biodegradáveis conseguem obter os mesmos resultados que os outros materiais.

No caso concreto das cápsulas de café, no final da sua utilização, as cápsulas são simplesmente deitadas em lixeiras e aterros. Assim que as empresas apostem neste tipo de materiais, poderão criar programas de incentivo à compostabilidade caseira e outros programas ecológicos, mantendo também os seus produtos não biodegradáveis.

Capítulo V

Conclusão

24 Conclusões

- Os testes que foram realizados para caracterização mecânica dos materiais revelaram-se importantes permitindo concluir que todos os materiais estão dentro dos parâmetros exigidos para a aplicação requerida. Numa análise mais cuidada pode-se constatar que os 3 co-poliésteres apresentam valores diferentes do PP copolímero, o que é normal, uma vez que se trata de materiais distintos;
- Em relação ao teste VICAT, pode concluir-se que todos os materiais apresentam temperaturas de amolecimento bem acima do que é exigido, 90°C;
- No caso do teste de biodegradabilidade, embora não se tenha conseguido efetuar durante o tempo estipulado pela norma EN 13432, verificou-se que ao fim das quatro semanas, as amostras apresentam sinais de desintegração, primeira fase do processo de biodegradação;
- No que diz respeito às modificações realizadas na conceção da cápsula protótipo, verificou-se que funcionaram para a máquina X. Porém, estas novas modificações não poderão ser utilizadas nas máquinas Y;
- Concluiu-se também que o problema reside na forma como é embalado o café: num dos métodos, pressiona-se o café contra a cápsula (cápsula A), fazendo todo o sentido a inexistência de um 3º elo; no outro método (cápsula B), o café é embalado normalmente (sem pressão).

25 Conclusão Geral

A dissertação, ora finda, tinha como objetivo principal a apresentação e demonstração de todo o processo relacionado com a produção de uma cápsula biodegradável.

Após vários estudos efetuados sobre matéria-prima e possíveis modificações estruturais para a cápsula, chegou-se à conclusão de que todos os materiais testados (Apinat DP2267/1 P35 C1, Apinat DP2267/2 P35 C1 e Apinat DP2289/2) poderão ser utilizados na injeção da cápsula.

A nível de funcionamento, a cápsula foi desenvolvida, testada e aprovada para o sistema inicialmente requerido (máquina X). Não obstante, e devido às alterações introduzidas, deixou de funcionar nas máquinas de café, do modelo anterior (máquina Y).

Na sequência de observações mais pormenorizadas, concluiu-se ainda que o não funcionamento da cápsula nas máquinas antigas, com a estrutura atual, deve-se à forma como é inserido e compactado o café: contra a cápsula.

Em jeito de conclusão, pode afirmar-se que o problema de vedação, que impedia a utilização da cápsula nos novos modelos da máquina, foi ultrapassado, através de alterações estruturais aplicadas, atingindo-se, desta forma, o objetivo principal proposto.

26 Propostas de trabalhos futuros

O trabalho desenvolvido permitiu determinar quais eram os defeitos em termos de vedação que a cápsula antiga continha, podendo assim partir-se para as ações corretivas produzindo-se uma nova cápsula de café.

Assim sendo, sugerem-se as seguintes medidas que podem ser adotadas futuramente:

- Construção de um novo modelo protótipo em que a zona superior (onde reside o pino e a rede) é puxada para cima. No entanto, esta solução construtiva poderia afetar a vedação na máquina mais recente;
- Mudar o modo de embalagem do café, colocando pressão durante o mesmo;
- Sugerir ao cliente a pesquisa de um filme de vedação mais forte para permitir a embalagem sob pressão;
- Injetar e testar a matéria-prima Ecovio® IA 1652 da BASF como alternativa aos outros produtos.

Referências bibliográficas

- [1] http://en.europeanbioplastics.org/wpcontent/uploads/2013/publications/EuBP_FactsFigures_bioplastics_2013.pdf
- [2] Andrade, Maria Cláudia (2011), "*Avaliação do desempenho de diferentes plásticos biodegradáveis na cultura do morangueiro*", Dissertação de mestado na Universidade Técnica de Lisboa, Portugal
- [3] A. K. Mohanty, M. Misra, G., Hinrichsen (2000), "*Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview*", Technical University of Berlin, Institute of Nonmetallic Materials, Polymer Physics, Englische Str. 20, D-10587 Berlin, Germany
- [4] Costa, Cláudia (2007), *Biologia na compostagem*, Consultado em Agosto, 2014 em <http://ecoamigos.wordpress.com/2007/08/31/biologia-na-compostagem/>
- [5] R.M. Johnson, L.Y. Mwaikambo and N. Tucker (2003), *Biopolymers*, Repra Review Reports
- [6] E. S. Stevens, Green Plastics. *An Introduction to the New Science of Biodegradable Plastics*, Princeton University Press, Princeton, 2002
- [7] Major and Calafut (1998), *Polypropylene, 1st Edition*
- [8] http://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2010/05/article_0007.html
- [9] Kyrikou I, Briassoulis D (2007). Biodegradation of Agricultural Plastic Filmes: A Critical Review. J. Polym. Environ
- [10] <http://www.marktest.com/wap/a/n/id1aaf.aspx>
- [11] <http://www.deco.proteste.pt/casa/maquinas-cafe/dicas/capsulas-de-cafe-residuos-a-colocar-no-sitio-certo>

[12] J. Brandrup and co-workers, eds., *Recycling and Recovery of Plastics*, Hanser Publishers, Munich, 1999

Anexos

PRODUCT DATA SHEET - PROVISIONAL

Apinat DP2267/1 R35 C1

apinat 

Main features

Transformation technology:

Pre-drying:

Recycling:

Biodegradable polymer

Injection Moulding

Pre-drying is required (2 hours at 70 + 80 °C)

Regrinded material can be easily mixed with virgin product. Dry regrind prior to reprocessing. Recycling is not allowed for critical applications

Properties	Method	Unit	Result
Density	ASTM D 792	g/cm ³	1,32
Hardness 3"	ASTM D 2240	Shore D	72
Tear Strength (without notch)	ASTM D 624	KN/m	115
Tensile Strength	ASTM D 638	MPa	36,0
Elongation at break (mould direction)	ASTM D 638	%	51
Flexural modulus	ASTM D 790	MPa	1350
MFI (190 °C, 49.05 N)	ASTM D 1238	g/10 min	79

Revision date: 26/11/13

Processing

Optimum processing conditions depend on such features as machine size, screw design, mould design and material residence time.

Injection Moulding

Typical conditions are:

Injection pressure: Medium

Back pressure: Medium - Low

Injection speed: Medium - Low

Temperature settings (°C):

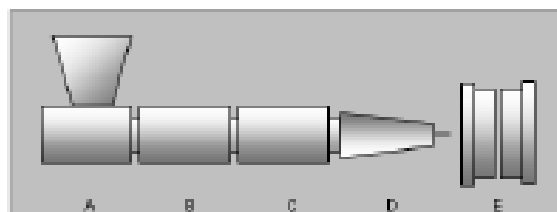
Zone A 150 + 160

Zone B 160 + 170

Zone C 165 + 175

Zone D 170 + 180

Zone E 25 + 40



The information supplied above is given in good faith and is accurately based on test results. However, we recommend that the procedures suggested, which may be updated from time to time, are tested to ensure that they are suitable for your specific application. API Spa does not guarantee results and assumes no obligation or responsibility whatsoever in respect of the information provided. Furthermore API Spa refuses to acknowledge any use which violates existing patents.

PRODUCT DATA SHEET - PROVISIONAL

Apinar DP2267/2 P35 C1

apinat 

Main features

Transformation technology:

Pre-drying:

Recycling:

Biodegradable polymer

Injection Moulding

Pre-drying is required (2 hours at 70 + 80 °C)

Regrinded material can be easily mixed with virgin product. Dry regrind prior to reprocessing. Recycling is not allowed for critical applications

Properties	Method	Unit	Result
Density	ASTM D 792	g/cm ³	1,32
Hardness 3"	ASTM D 2240	Shore D	72
Tear Strength (without notch)	ASTM D 624	KN/m	115
Tensile Strength	ASTM D 638	MPa	36,0
Elongation at break (mould direction)	ASTM D 638	%	51
Flexural modulus	ASTM D 790	MPa	1350
MFI (190 °C, 49.05 N)	ASTM D 1238	g/10 min	79

Revision date: 17/01/13

Processing

Optimum processing conditions depend on such features as machine size, screw design, mould design and material residence time.

Injection Moulding

Typical conditions are:

Injection pressure: Medium

Back pressure: Medium - Low

Injection speed: Medium - Low

Temperature settings (°C):

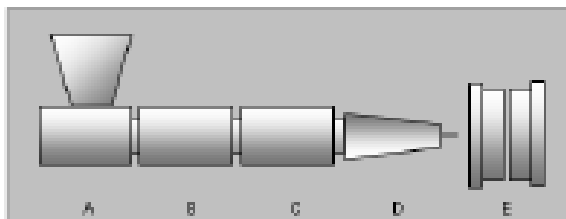
Zone A 150 + 160

Zone B 160 + 170

Zone C 165 + 175

Zone D 170 + 180

Zone E 25 + 40



The information supplied above is given in good faith and is accurately based on test results. However, we recommend that the procedures suggested, which may be updated from time to time, are tested to ensure that they are suitable for your specific application. API Spa does not guarantee results and assumes no obligation or responsibility whatsoever in respect of the information provided. Furthermore API Spa refuses to acknowledge any use which violates existing patents.

PRODUCT DATA SHEET - PROVISIONAL

Apinat DP2289/2

apinat 

Main features

Transformation technology:

Pre-drying:

Recycling:

Biodegradable polymer

Injection Moulding

Pre-drying is required (2 hours at 70 + 80 °C)

Regrinded material can be easily mixed with virgin product. Dry regrind prior to reprocessing. Recycling is not allowed for critical applications

Properties	Method	Unit	Results*
Density	ASTM D 792	g/cm ³	1,25
Hardness 3"	ASTM D 2240	Shore D	74
Tear Strength (without notch)	ASTM D 624	KN/m	120
Tensile Strength	ASTM D 638	MPa	40,0
Elongation at break (mould direction)	ASTM D 638	%	50
Flexural modulus	ASTM D 790	MPa	1400

* Typical property values: these are not to be construed as specifications.

Revision date: 11/06/14

Processing

Optimum processing conditions depend on such features as machine size, screw design, mould design and material residence time.

Injection Moulding

Typical conditions are:

Injection pressure: Medium

Back pressure: Medium - Low

Injection speed: Medium - Low

Temperature settings (°C):

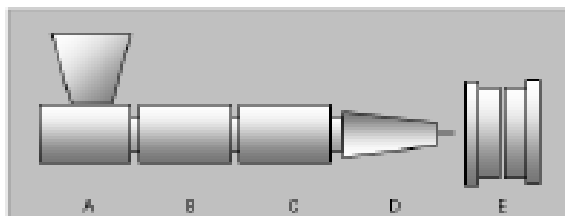
Zone A 160 + 170

Zone B 170 + 180

Zone C 185 + 195

Zone D 195 + 210

Zone E 25 + 40



The information supplied above is given in good faith and is accurately based on test results. However, we recommend that the procedures suggested, which may be updated from time to time, are tested to ensure that they are suitable for your specific application/production. API Spa does not guarantee results and assumes no obligation or responsibility whatsoever in respect of the information provided, other than those required by applicable Law. Furthermore API Spa will not take any responsibility in case of any use of the products in violation of third party patent and/or right of any kind.

Technical data sheet

Product name: **Bio-Flex® S 5630**
Date of issue: 21.10.2010 (prev. Bio-Flex® V 1644)

Version: 1.0
Page 1 / 1

1. Designation of product, preparation and manufacturer

1.1 Trade name: Bio-Flex® S 5630

1.2 Use of product: Biodegradable compound for thermoforming and injection moulding

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	2180	[MPa]	ISO 527
Tensile strength	32	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at tensile strength	6	[%]	ISO 527
Tensile stress at break	29	[MPa]	ISO 527
Tensile strain at break	9	[%]	ISO 527
Flexural modulus	2400	[MPa]	ISO 178
Flexural strain at break	no break	[%]	ISO 178
Flexural stress at 3.5 % strain	46	[MPa]	ISO 178
Notched impact strength (Charpy), RT	3	[kJ/m ²]	ISO 179-1/1 eA
Impact strength (Charpy), RT	51	[kJ/m ²]	ISO 179-1/1 eU
Density	1.55	[g/cm ³]	ISO 1183
Bulk density	895	[kg/m ³]	ISO 60

3. Thermal properties

Melt temperature	140 - 160	[°C]	ISO 3146-C
Vicat A softening temperature	105	[°C]	ISO 306
Heat distortion temperatur HDT B	68	[°C]	ISO 75



Polypropylene

Bormod™ BF970MO

Polypropylene for Injection Moulding

Description

Bormod BF970MO is an heterophasic copolymer (block copolymer) characterised by an optimum combination of very high stiffness and high impact strength.

Bormod BF970MO is formulated for very effective nucleation, Borealis Nucleation Technology (BNT). BNT in combination with excellent stiffness and good flow properties creates high potential for cycle time and wall thickness reduction.

Products moulded with Bormod BF970MO exhibit very good demoulding properties. That is combined with well-balanced mechanical properties, good organoleptical properties, and excellent dimension consistency with respect to different colours.

Applications

Bormod BF970MO is a new generation grade for very fast production of injection moulded items, meeting the increasing demand of wall thickness reduction in the packaging segment.

Main application areas are:

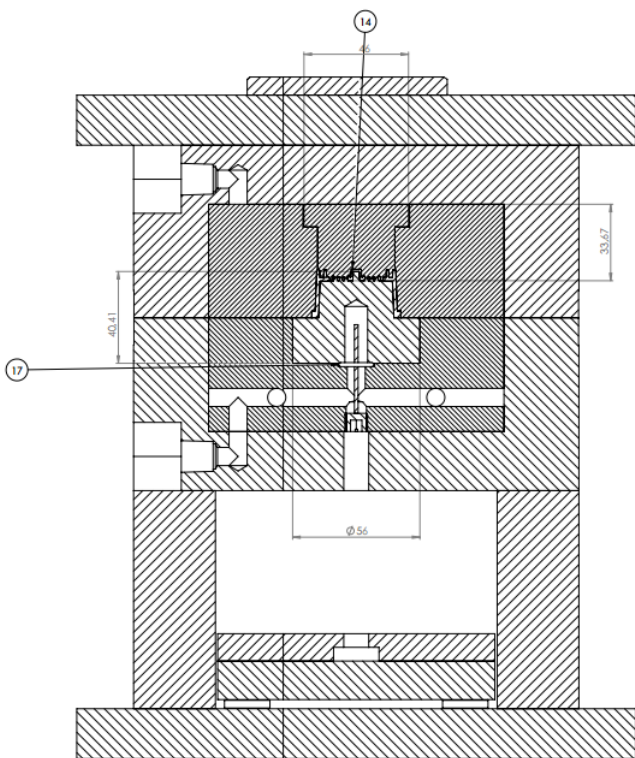
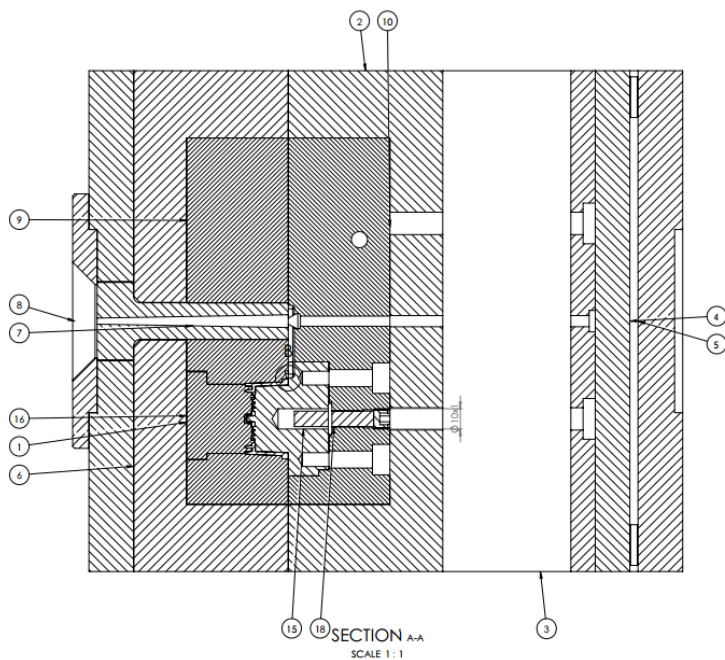
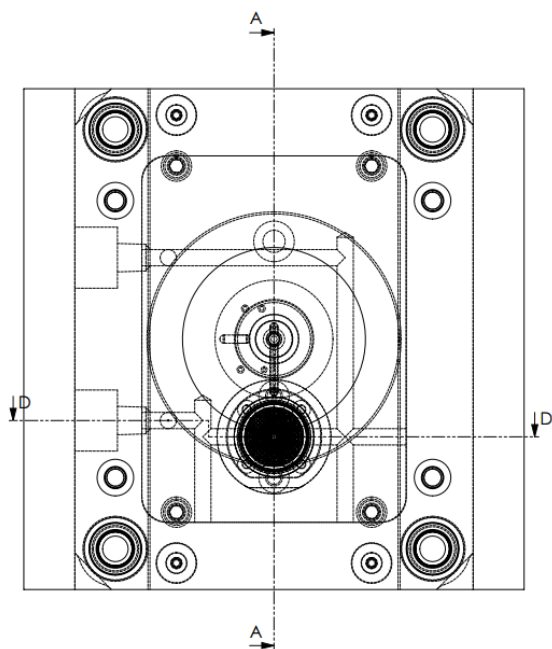
- Crates
- Boxes
- Pails
- Housewares
- Technical parts

Physical Properties**

		Typical Value*	Unit	Test Method
Density		905	kg/m ³	ISO 1183
Melt Flow Rate	(230°C/2.16 kg)	20	g/10 min	ISO 1133
Tensile Stress at Yield	(50 mm/min)	27	MPa	ISO 527-2
Tensile Strain at Yield	(50 mm/min)	5	%	ISO 527-2
Tensile Modulus	(1 mm/min)	1500	MPa	ISO 527-2
Charpy Impact Strength, notched	(+23°C)	8.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy Impact Strength, notched	(-20°C)	4.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Hardness, Rockwell		89	R-scale	ISO 2039-2
Heat Deflection Temperature	(0.45 N/mm ²)	105	°C	ISO 75-2
Total Penetration Energy	(0°C)	20	J	ISO 6603-2
Total Penetration Energy	(-20°C)	15	J	ISO 6603-2

* Data should not be used for specification work.

** Mechanical properties determined on injection moulded specimens acc. to ISO 1873-2 (97), based on 7 days conditioning time.



SECTION b-b
SCALE 1:1

18	E 2101-10-100	1			
17	O-ring DN 3771 - 11.8x1.8	1			
16	POSICAO CAVIDADE*001.06	1			
15	POSICAO_BUCHA*001.06	1			
14	capsula	1			
13	I10-76-18	4			
12	I20-76-18 X 95	4			
11	Paralel Pin ISO 2338 - 4 h6 x 12 - S1	1			
10	ELEMENTO_BUCHA*001.06	1			
9	ELEMENTO_CAVIDADE*001.06	1			
8	ANEL_CENTRAGEM	1			
7	GIRO	1			
6	F10_196_246_22_6	1			
5	F10_196_246_22_4	1			
4	F10_196_246_122_5	1			
3	F10_196_246_36_96_7	1			
2	F53_196_246_76_2	1			
1	F53_196_246_76_1	1			
Nº PEÇA	DESIGNAÇÃO	QUANT.	DIMENSÕES/REF.	MATERIAL	TRATAMENTO